

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Fakulta tělesné výchovy a sportu

Možnosti detekce dyskomfortu pomocí řešení
úlohy typu tracking task

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Zbyšek Štěpáník

Zpracovala: Veronika Grillingerová

srpen 2006

Souhrn:

Název práce: Možnosti detekce dyskomfortu pomocí řešení úlohy typu tracking task.

Title of work: Possible application of tracking task in discomfort detection.

Cíle práce: Shrnout informace o tracking task a provedení jednoduché experimentální úlohy tracking task, subjektivní metodou dotazníku porovnat spolehlivost obou metod.

Metoda: Detekce dyskomfortu na základě kombinace přímé a nepřímé metody. Nepřímou metodu reprezentuje tracking task, který bude v případě studie dyskomfortu použit poprvé a přímou metodu zastupují dotazníky.

Výsledky: Práce přinesla zajímavý náhled na detekci dyskomfortu specificky použitou metodou tracking task. Ukázala určité nové směry v samotném vyhodnocování experimentu a naznačuje další možné postupy řešení problému.

Klíčová slova: dyskomfort, detekce, tracking task, senzomotorický výkon

Touto cestou bych chtěla poděkovat Ing. Štěpáníkovi za odborné vedení diplomové práce a vytvoření softwaru pro účely experimentu. Dále děkuji mému bratrovi, Petru Grillingerovi, za vytvoření programu slučovač a za jeho podporu.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a použila jsem pouze literaturu uvedenou v seznamu použité literatury.



Veronika Grillingerová

Svoluji k zapůjčení své diplomové práce ke studijním účelům.

Prosím, aby byla vedena přesná evidence vypůjčovatелů, kteří musejí pramen převzaté literatury řádně citovat.

Jméno a příjmení: Číslo obč. průkazu: Datum vypůjčení: Poznámka:

Obsah

1	Úvod	7
1.1	Cíle práce	8
1.2	Hypotézy	8
2	Teoretická východiska	9
2.1	Pojem dyskomfort	9
2.2	Biologická podstata dyskomfortu	11
2.3	Přehled možností detekce dyskomfortu	12
2.3.1	Přímé metody	12
2.3.2	Nepřímé metody	16
2.4	Tracking task	18
2.4.1	Obecná charakteristika TT	18
2.4.2	Požadavky TT	20
2.4.3	Parametrizace TT	21
2.4.4	Faktory ovlivňující výkon TT	22
2.4.5	Přehled jednotlivých studií TT	23
3	Metodologie	34
3.1	Organizace experimentu	34
3.2	Pokusné osoby	34
3.3	Vymezení	35
3.4	Použité metody detekce	35
3.4.1	Tracking task	35
3.4.2	Subjektivní dotazník	38
3.5	Interpretace dat	39

3.5.1	Zpracování naměřených dat programem Slučovač	40
4	Výsledky	44
4.1	Tracking task	44
4.2	Subjektivní dotazník I a II	55
4.3	Přehled grafů vývoje dyskomfortu	57
5	Diskuze	60
6	Závěr	63
	Seznam použité literatury	65
	Použité zkratky	71
	Příloha A: Tabulky	72
	Příloha B: Grafy	75

Seznam grafů

Graf 1:	Klouzavá střední chyba a směrodatná odchylka, subjekt <i>V</i> , 1. měření	46
Graf 2:	Klouzavá střední chyba a směrodatná odchylka, subjekt <i>V</i> , 4. měření	47
Graf 3:	Klouzavá střední chyba a směrodatná odchylka, subjekt <i>V</i> , 8. měření	47
Graf 4:	Klouzavá střední chyba, subjekt <i>V</i> , všechna 30-minutová měření	48
Graf 5:	Klouzavá střední chyba, subjekt <i>V</i> , dvě 60-minutová měření	48
Graf 6:	Kumulovaná střední chyba, subjekt <i>V</i> , dvě 60-minutová měření	49
Graf 7:	Klouzavá střední chyba a směrodatná odchylka subjekt <i>V</i> , 2-hod.měření	50
Graf 8:	Kumulovaná střední chyba a směrodatná odchylka subjekt <i>V</i> , 2-hod.měření	51
Graf 9:	Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce (vstup = cíl, výstup = kurzor), 2. minuta 2-hodinového měření subjektu <i>V</i>	52
Graf 10:	Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce, 34.minuta 2-hodinového měření subjektu <i>V</i>	53
Graf 11:	Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce, 60.minuta 2-hodinového měření subjektu <i>V</i>	54
Graf 12:	Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce, 115.minuta 2-hodinového měření subjektu <i>V</i>	55
Graf 13:	Vývoj dyskomfortu u subjektu <i>V</i> , 1. měření	57
Graf 14:	Vývoj dyskomfortu u subjektu <i>V</i> , 4. měření	57
Graf 15:	Vývoj dyskomfortu u subjektu <i>V</i> , 8. měření	58
Graf 16:	Vývoj dyskomfortu u subjektu <i>V</i> , 60min.měření	58
Graf 17:	Vývoj dyskomfortu u subjektu <i>V</i> , 60min.měření	59
Graf 18:	Vývoj dyskomfortu u subjektu <i>V</i> , 2-hod. měření	59
Graf 19:	Vývoj dyskomfortu u subjektu <i>M</i> , 3.měření	75

Graf 20:	Vývoj dyskomfortu u subjektu <i>P</i> , 2.měření	75
Graf 21:	Klouzavá střední chyba subjektu <i>M</i> u všech měření	76
Graf 22:	Klouzavá střední chyba subjektu <i>P</i> u všech měření	76
Graf 23:	Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce (vstup = cíl, výstup = kurzor), subjekt <i>V</i> , 31.minuta měření	77
Graf 24:	Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce (vstup = cíl, výstup = kurzor), subjekt <i>V</i> , 32.minuta měření	77
Graf 25:	Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce (vstup = cíl, výstup = kurzor), subjekt <i>V</i> , 33.minuta měření	78
Graf 26:	Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce (vstup = cíl, výstup = kurzor), subjekt <i>V</i> , 34.minuta měření	78
Graf 27:	Klouzavá směrodatná odchylka subjektu <i>V</i> u všech 30-min.měření	79

1 Úvod

Komfortem při řízení automobilu se zabývá celý tým, od ergonomů po techniky, který se účastní navrhování automobilu. Komfort se pak vztahuje k sedadlu, k manuálnímu či automatickému ovládání, dobrému osvětlení, tlumení přenosu vibrací apod.

Na pojem dyskomfort už tak často nenarazíme a ani na jeho přesné definování. Dyskomfort je subjektivně vnímaný pocit nepohodlí a nepokoje, který vzniká vzájemnou interakcí lidského organismu se zevním prostředím. Je důležité si uvědomit, že pocit nepohodlí se projeví až po delší statické zátěži, a je třeba z toho vycházet i při měření. Několik studií se zabývalo měřením změn rozložení tlaku na styčné ploše sedadla ve vztahu k dyskomfortu. Logicky vyplývá, že při výrazném pocitu nepohodlí se snaží člověk změnit polohu, vrtí se, a tím dochází i ke změně tlaku a změně polohy těžiště těla. Dočkalová (2005) píše, že dalším vodítkem k objektivnímu měření dyskomfortu by mohlo být chování jedince během určitého úkolu. Mohlo by se jednat o celkem jednoduchý úkol typu tracking task, kdy se bude sledovat chybovost při provádění úkolu. Předpokládáme, že se bude v dlouhodobějším časovém horizontu chybovost i dyskomfort zvyšovat. Nesmíme zapomínat, že dyskomfort má v sobě i subjektivní složku, kterou lze nepřímými metodami jen těžko postihnout, a proto se jeví kombinace přímé a nepřímé metody jako zatím optimální a zároveň komplexní přístup k problému. Podobný názor zastává i De Looze (2003), který tvrdí, že kombinací obou metod získáme reálnější podobu projevu dyskomfortu.

S pocitem nepohodlí se setkává každý člověk a snaží se ho různě eliminovat. K odstranění následků je třeba nejprve odstranit příčinu. Cílem této práce není samotné odhalování příčiny dyskomfortu, ale použití specifické metody k jeho detekci. Tato metoda pak může poodhalit jiné náhledy na problematiku dyskomfortu a pomoci v jeho prevenci.

V teoretické části práce se dotknu problematiky dyskomfortu a uvedu přehled přímých a nepřímých metod jeho detekce (část 2.3), popíšu princip metody tracking task (část 2.4.1-2.4.4) a uvedu několik studií, týkající se problematiky tracking task (část 2.4.5). Praktická část se zabývá vlastním experimentem, popisem použitých metod

k detekci a způsobem jejich vyhodnocení (část 3). Hodnocení výsledků a přehledné zobrazení grafů obsahuje část 4.

1.1 Cíle práce

Cílem této práce je prověřit možnosti detekce dyskomfortu nepřímou metodou. Kombinací dotazníkové metody a měření senzomotorického výkonu ve smyčce okoruka (tracking task) budeme sledovat, jak dyskomfort ovlivňuje chování jedince při provádění tracking task. Metoda dotazníku se při detekci používá často, ale v kombinaci s tracking task vzhledem k hodnocení dyskomfortu nebyla doposud použita. Na základě získaných výsledků zhodnotit, zda dyskomfort souvisí s výkonem operátora (řidiče), popřípadě jak ohraničit pojem dyskomfort s ohledem na tracking task.

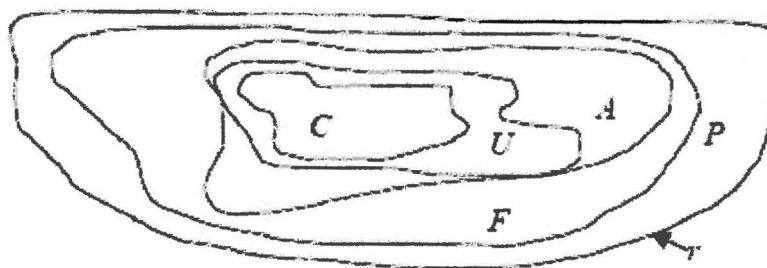
1.2 Hypotézy

- Chyba při tracking task se bude zvyšovat v čase a s náročností úkolu.
 1. Okamžitá chyba tracking task v čase (t) je definována jako vzdálenost cíle a kurzoru na ose y . Okamžitá chyba bude měřena v pixelech a může nabývat hodnot všech kladných celých čísel (včetně nuly). Chyba v určitém intervalu bude vyjádřena jako aritmetický průměr všech okamžitých chyb v tomto intervalu. Střední chyba může být kladné reálné číslo. Vizuální identifikace přenosových vlastností systému okoruka bude provedena na základě frekvenční charakteristiky systému (cíl = vstup, kurzor = výstup).
 2. Obtížnost úlohy bude vyjádřena trajektorií a rychlostí pohybu cíle.
- Dyskomfort se projeví ve výkonu při provádění tracking task

2 Teoretická východiska

2.1 Pojem dyskomfort

Dyskomfort se popisuje jako subjektivní pocit nepohodlí, který vzniká vzájemnou interakcí lidského organismu se zevním prostředím. Zatím ještě neexistuje přesná a jasná definice dyskomfortu. Protože jde o soubor několika pocitů, které vznikají na základě působení vnitřních a zevních podnětů na člověka, lze jen ztěžít vytvořit jasnou definici, která vystihne dyskomfort v celé jeho šíři. Autoři zabývající se dyskomfortem spíše jen popisují jeho vlastnosti a pravděpodobné vyvolávající faktory. Někteří autoři dokonce zaměňují dyskomfort s bolestí a únavou, protože jsou často vyvolány stejnými podněty. Dyskomfort, který vznikne za stejných vnějších podmínek, bude jako subjektivní pocit každý vnímat rozdílně, v jiné intenzitě i lokalitě, na základě své vnitřní interpretace. Kölsch a kol. (2003) se zmiňuje o vědomém a nevědomém dyskomfortu. Jeho diagram zobrazuje rozdělení zón komfortu v dané fyzické oblasti v daném čase. Písmeno r určuje možný anatomický rozsah člověka. Autor popisuje postupný přechod ze zóny komfortu „C“, přes nevědomý dyskomfort „U“ na vědomý dyskomfort „A“ až na pocit únavy „F“ a bolesti „P“ (viz Obrázek 1). Nevědomý dyskomfort si jedinec neuvědomuje, protože nedosáhl takové intenzity, aby se dostal na úroveň vnímání. Je jasné, že dotazníkovou metodou nelze nevědomou složku dyskomfortu detekovat.



Obrázek 1: Schéma dyskomfortu (převzato od Mathias Kölsch)

Jestliže se bavíme o dyskomfortu v souvislosti se statickou zátěží jako je například sed, při kterém dochází ke statickému přetěžování struktur na všech úrovních

(měkké tkáně, sval, kost), tak všechny tyto fyziologické změny můžeme považovat za podněty ke vzniku dyskomfortu. Dyskomfort je spojený s biomechanickými faktory jako jsou nastavení kloubů, stlačení tkání, svalová kontrakce a omezení krevní cirkulace (Helander a Zhang, 1996).

Člověk se přirozeně snaží eliminovat nepohodlí a používá k tomu nejjednodušších prostředků jako je pohyb (protažení, „zavrtění“). Tím odlehčí strukturám a sníží pocit dyskomfortu. Řada autorů uvádí, že potřeba pohybu může souviset s dyskomfortem (Corlett citovaný Fenetym, 2002; Branton citovaný Weisovou, 2005; De Looze, 2003; Marler, 2005; Vergara a Page, 2002).

Někteří autoři posuzují dyskomfort vzhledem ke komfortu a o vztahu těchto dvou pojmů se zmiňuje Weisová (2005) ve své práci, kde charakterizuje tyto dva pojmy buď jako odlišné a nezávislé stavy (protože jsou ovlivněné různými faktory), nebo jako kontinuum (od dyskomfortu, přes neutrální bod, po komfort). Helander, Zhang (1996) definovali komfort a dyskomfort při sezení jako nezávislé entity související s různými faktory. Tewari ve své práci uvádí názor Hertzberga, který definoval „komfort jako absenci dyskomfortu“. De Looze a kol. uvádí, že komfort je subjektivní fenomén determinovaný různými faktory. Je sdružený s celkovými pocity relaxace a pohody. Popisuje ho ve třech bodech: 1. pocit komfortu stojí na subjektivních vlastnostech individua; 2. komfort je ovlivněn fyziologickými i psychologickými různostmi jedince; 3. komfort je reakce na okolí.

Branton (citovaný Quehl, 2001) zavedl pojem „posturální homeostázy“. Homeostáza je fyziologický pojem, který se týká automatické regulace tělesných funkcí. V sedu bude osoba požadovat k udržení komfortu stabilitu zajišťovanou sedadlem. Postupem času stabilizační aspekty sedadla (např. loketní opěrka) budou mít tendenci ke kompresi částí těla, sníží se cirkulace kapilárami a může vzniknout snížená citlivost. To přiměje osobu ke změně pozice, a tím snížení stability. Homeostatické chování sedící osoby neustále upravuje pozici k udržení komfortu (nebo redukci dyskomfortu). Slater (1985, citovaný Quehl) uvádí definici komfortu jako „příjemný stav fyziologické, psychologické a tělesné harmonie člověka a okolí.“

Můžeme se shodnout na multifaktoriální podstatě dyskomfortu (jak ji popisují Helander nebo Monette, citováno Crane 2001). Dyskomfort je vnímán individuálně a ovlivní ho jak fyzické, tak i psychické faktory. Dyskomfort je určený fyziologickými procesy uvnitř organismu, které reagují na statickou zátěž, a na jeho vyhodnocení se podílí psychická složka.

Určitý vliv se připisuje i okolnímu prostředí (jako je přítomnost vibrací, hluku, nadměrného osvětlení apod.) Většina autorů popisuje dyskomfort jako pocit, ale pocit nelze změřit. Můžeme ho charakterizovat jako stav nepohodlí, který každý vnímá individuálně. Přirozenou snahou člověka je dyskomfort snižovat, tedy přecházet ze stavu s vysokým dyskomfortem do stavu s nízkým dyskomfortem.

2.2 Biologická podstata dyskomfortu

Dyskomfort je velice široký pojem, na kterém se projevuje působení celé řady fyzických a psychických faktorů. V jeho zkoumání se bere se v úvahu zejména jeho psychická složka, která se detekuje pomocí subjektivních dotazníků, ale fyzická už méně. Biologická podstata, na které vlastně z velké míry stojí jeho vznik, je doposud neprobádaná. Můžeme se shodnout na jeho biologické podstatě, která by mohla pramenit z monotónního dlouhodobějšího statického zatížení. Při takovémto zatížení dochází k obstrukci proudění tělních tekutin na všech úrovních, což se musí zákonitě projevit v chování jedince při dosažení určitého stupně obstrukce. Zpočátku jedinec nemusí vůbec výrazně vnímat nějaké změny způsobené pohybovou deprivací, ale po určité době se začne automaticky „vrtět“ a měnit polohu, aby se cítil opět pohodlně. Je pravděpodobné, že psychická složka se na samotném podnětu vzniku dyskomfortu nepodílí, pouze ho spoludotváří a může ho do určité míry modifikovat. Například pokud je člověk negativně (depresivně) naladěný, bude jeho celkové vnímání (tudíž i vnímání dyskomfortu) jiné než u pozitivně (euforicky) naladěného člověka.

Nás ale z hlediska zkoumání a měření dyskomfortu bude zajímat zejména biologická podstata a její parametry, které se dají přímo změřit. Psychickou složku dyskomfortu hodnotí dotazníky, které jsou subjektivní a mohou být zkreslené vnímáním

jedinice a jeho aktuálním naladěním. Navíc ani nepostihují nevědomou složku dyskomfortu, kterou by měření určitého biologického ukazatele mohlo zahrnovat.

V současné době neexistuje jasná definice dyskomfortu. Různí autoři jej definují různými způsoby a není jednoduše možné tyto definice jednoduše sjednotit. Možné řešení je současný pojem dyskomfort rozdělit na několik složek, které lze definovat snáze a nezávisle na sobě. Především oddělit psychické vnímání dyskomfortu a jeho biologickou podstatu. Pro biologickou podstatu dyskomfortu lze zavést nový pojem, který nezahrnuje škálu pocitů, ale který vystihuje nepohodlí v různé míře, a který se zabývá jen biologickou složkou, a je jasně definovatelný a měřitelný. Nalezení nového definovaného pojmu by mohlo umožnit či usnadnit objevení relevantního vztahu k senzomotorickému výkonu člověka. Nový termín, pokud bude zaveden, by měl být zvolen po diskuzi s dalšími odborníky v oblasti dyskomfortu.

Nalezením biologického ukazatele by se dal také určit nevědomý dyskomfort, o kterém se zmiňuje Kölsch, a tak umožnit prevenci vzniku dyskomfortu.

2.3 Přehled možností detekce dyskomfortu

Dyskomfort je široký a komplexní pojem, který lze ve všech jeho kvalitách jedinou metodou jen obtížně detekovat. Často se proto kombinuje více metod detekce pro postihnutí jeho charakteristik. Tyto metody můžeme rozdělit na přímé a nepřímé. Přímé metody hodnotí primárně dyskomfort a nepřímé hodnotí určité charakteristiky vztažené k dyskomfortu.

2.3.1 Přímé metody

Jedinou doposud známou přímou metodou detekce jsou subjektivní dotazníky. Dotazníky jsou založené na výpovědi jedince, schopnosti interpretace svých pocitů a individuální vnímavosti. Dočkalová (2005) zmiňuje názor Strakera (1998), že dyskomfort je třeba hodnotit ze čtyř hledisek: intenzity, kvality, místa na těle, kde je pociťován a jeho chování v čase.

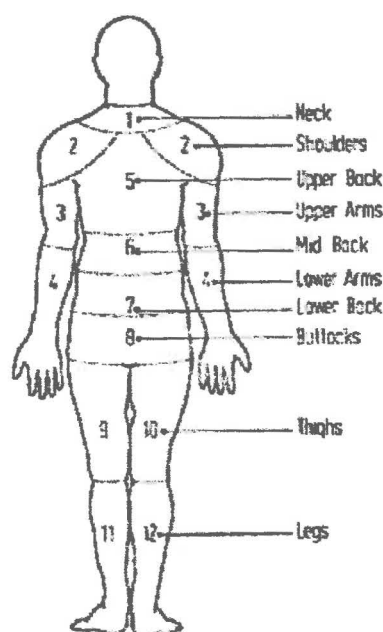
K hodnocení intenzity se využívají různé stupnice. Verbální stupnice popisuje intenzitu dyskomfortu slovně a výstižně (např. žádný, minimální, mírný, vážný a

maximální dyskomfort). Vizuální analogovou stupnici prezentuje úsečka, na kterou se zakresluje míra pociťovaného dyskomfortu od žádného po maximální hodnotu. Zachycuje tak kontinuitu procesu na rozdíl od verbální stupnice. Obvykle je 10 cm dlouhá a hodnotí se vzdálenost od levého konce úsečky. Wewers a kol. (1990) uvádí, že má velkou výpovědní hodnotu pro měření jednotlivce, ale už menší při porovnání skupiny v určitém čase.

Číselná stupnice vypadá podobně jako vizuální analogová, ale s číselnými hodnotami nejčastěji 0-10. Grafická stupnice je kombinací předchozích (vizuální analogové a číselné nebo verbální). Dotazovaný zakreslí intenzitu dyskomfortu na úsečku stejně jako u vizuální analogové stupnice. Čísla nebo přídavná jména mu usnadňují výběr, což je výhodou této stupnice (Dočkalová, 2005).

K lokalizování dyskomfortu se běžně používá mapa lidského těla, do které se pak zakreslí místo, kde je dyskomfort pociťován. Tělová mapa může být rozdělená na určité oblasti, které jsou označeny čísly a jedinec pak jen sdělí číslo oblasti, kde cítí dyskomfort.

Jedním z nejrozšířenějších dotazníků je „Body Part Discomfort Scale“ (BPDS) od Corletta a Bishopa (1976, Obrázek 2), který se používá i v různých modifikacích (Porter a kol. 2003, Falou a kol. 2003). Mapy mohou zobrazovat sedící či stojící postavu.



Obrázek 2: BPDS od Corlett a Bishop

Na hodnocení dyskomfortu v čase neexistuje jednotný názor. Odlišují se jak v době monitorování dyskomfortu, sběrem dat v různých intervalech, tak i způsobem zaznamenávání dat. Jedinec může dostávat pokaždé nový čistý dotazník nebo zakresluje pořad do jednoho a má možnost porovnání s předešlými výpověďmi. Jak ale uvádí Dočkalová (2005), druhá varianta může být zavádějící jak ze strany vyšetřovaného, tak při vyhodnocování ze strany vyšetřujícího. Dále cituje Brantona (1969), který tvrdí, že by se informace o dyskomfortu měla zaznamenat právě ve chvíli, kdy dotyčný dyskomfort prožívá, protože jinak by se taková výpověď spoléhala na kinestetickou paměť a mohla by být zkreslená. Bhatnager a kol. (1985) citovaný Fenetym (2000) píše, že pohyby sedícího člověka a dyskomfort se zvyšují v čase lineárním způsobem. Podobný názor popisující růst míry dyskomfortu v čase našla i Weisová (2005) u několika autorů (Falou a kol., 2003; Zhang a Helander, 1997; Porter a kol., 2003).

Otázkou však zůstává, zda se dotazováním či zaznamenáváním odpovědí nebude zvyšovat soustředění subjektu na dyskomfort, a tím zvětšovat hodnota. Kölsch (2003) uvádí, že proces dotazování účastníkovi neustále připomíná otázku dyskomfortu, a tím se může zvýšit vnímavost na dyskomfort. Dále píše, že dotazníky nejsou schopné určit nízkou úroveň nebo nevědomý pocit dyskomfortu. Při plnění určitého úkolu mohou

dotazováním jedince zhoršit jeho výkon na základě odpoutání pozornosti apod., a proto je důležité zvolit vhodnou a nenáročnou metodu dotazování, která neovlivní výkon. Velmi důležité je před samotným použitím dotazníku objasnění a popsání pocitu diskomfortu z hlediska jeho kvality. Kvalita diskomfortu může být popisována jako pocity mravenčení, únavy, necitlivosti, rozdílného tlaku, potřeby pohybu, ztuhlosti až bolesti (Zhang, 1996).

El Falou a kol. (2003) použil k hodnocení diskomfortu při řízení jako jednu z metod dotazník, který účastníci vyplňovali na počítači. Sledovali celkový i lokálních diskomfort. Celkový diskomfort hodnotili grafickou škálou od 0-10 a lokální diskomfort ve 36 označených zónách na lidském těle, kde byla intenzita popsána verbálně (vibrace, tlak, teplo, křeč, mravenčení) a stupni 1-3. Po vykonání experimentu, který trval 150 minut, účastníci následně popisovali vývoj diskomfortu během jízdy. Sběr dat probíhal náhodně během experimentu, celkem 7x a vyplnění dotazníku trvalo asi 2 minuty.

Fenety a kol. (2002) ve své studii použili subjektivní dotazník k testování hypotézy, že krátkodobým pravidelným cvičením se sníží muskuloskeletální diskomfort u počítačových operátorů. Zkoumali 11 osob, které neměly v nedávné době muskuloskeletální obtíže. Měřili pohyby na židli tlakově senzitivní podložkou. Sledovali je prostřednictvím centra tlaku na rozhraní hýždě a židle. Muskuloskeletální diskomfort ohodnotili pomocí „Body Part Discomfort Scale“ a mapou těla. Použili 6-bodovou vizuální analogovou škálu (0-„žádný diskomfort“, 5-„nesnesitelný diskomfort“). Testování probíhalo 2 hodiny při 2 příležitostech, před a po cvičení. Během každého testování měřili centrum tlaku po dobu tří 15-minutových období (na počátku testu a na konci první a druhé hodiny). Diskomfort ohodnotili pomocí škály v 30., 65. a 115. minutě každého testu. Měření proběhlo 2x a k hodnocení použili analýzu rozptylu.

Chung a kol. (2003) se zabývali vztahem mezi pociťovaným diskomfortem a různou pozicí nohou, kterou udržovali po dobu jedné minuty. Hodnotili 31 různých pozic, které klasifikovali do 6 kategorií (stoj, flexe kolena, sezení, klek, dřep, stoj na 1 noze). Studie se účastnilo 18 zdravých mladých mužů. Úroveň diskomfortu hodnotili po každé minutě, kdy udržovali danou pozici. Při hodnocení stupně diskomfortu měli

přiřadit k 9-bodové číselné stupnici odpovídající verbální charakteristiku („extrémně pohodlný“, „velmi pohodlný“, „pohodlný“, „málo pohodlný“, „tak-tak“, „trochu nepohodlný“, „nepohodlný“, „velmi nepohodlný“ a „extrémně nepohodlný“).

Orawan Kaewboonchoo a kol. (1998) použili „Standardized Nordic Questionnaire“ k ohodnocení pracovníků, jež jsou vystaveni vibracím rukou a paží. Tento dotazník se používá k ohodnocení muskuloskeletálních poruch. Mapa lidského těla je rozdělená do 9 částí a zaznamenávají se různé tělesné potíže (bolest, dyskomfort, apod.) Obsahuje také hodnocení stupně závažnosti problémů. Jeho modifikaci použil i Mansfield u jezdců rally.

Mansfield a kol. (2001) ve své studii zkoumali příznaky muskuloskeletálních poruch u jezdců rally a spolujezdců, které mohou být vyprovokovány velkými vibracemi a nárazy, kterým jsou závodníci vystaveni. Studie se účastnilo 13 profesionálních jezdců a 105 amatérů. Dotazník vyplňovali až po skončení závodu. Dotazník byl zaměřený jak na celkové tak i lokální příznaky. Dotazník rozdělili do 4 sekcí. Sekce A obsahovala 2 otázky na celkové tělesné příznaky. Účastníci měli po závodech zakroužkovat do tělové mapy jakoukoliv oblast, kde cítili „bolest nebo dyskomfort“. Pak měli označit stupeň dyskomfortu měřeného na 3-bodové škále („žádný dyskomfort“, „trochu dyskomfort“, „značná bolest“) ve všech 14 oblastech (kříž, hrudník, krk, ruce a zápěstí, ramena, paže, loket, předloktí, břicho, hrud', stehna, kolena, lýtka, kotníky a chodidla). V sekci B jezdci 7 otázkami klasifikovali zkušenosti se závoděním (jak dlouho jezdí rallye, komfort sezení, apod.). V sekci C hodnotili ruku a zápěstí (štípání, necitlivost, blednutí, hybnost prstů, zručnost po závodění.) V sekci D hodnotili působení vibrací na ruce.

Metoda dotazníku může do určité míry podávat zkreslené a nepřesné údaje. Příčinu lze hledat v subjektivní výpovědi jedince a také v nevhodném stanovení doby, kdy bude dotazování probíhat. Nejen proto je snaha najít spolehlivější metodu, která nebude zatížená subjektivní výpovědí jedince.

2.3.2 Nepřímé metody

Nepřímými metodami se nedá přímo detekovat dyskomfort, ale měří se jiné veličiny, které mohou mít větší či menší vztah k dyskomfortu. Nejsou závislé na odpovědi

jedinice a to je jejich výhodou. Jedná se například o měření rozložení tlaků na styčné ploše sedadla (Porter, 1999; Porter a Gyi, 2003; Wu a kol., 1998; Fenety a kol., 2000), měření progresu svalové únavy EMG (El Falou a kol., 2003), měření jízdního výkonu (El Falou a kol., 2003; Daanen a kol., 2003), měření polohy těla při řízení (Andreoni a kol., 2002; Porter 1999; Porter a Gyi, 2003), měření přenosu vibrací (El Falou a kol. 2003; Ebe a Griffin, 2000), měření tlaku meziobratlového disku (Andersson a kol., 1974, citovaný Kolichem 2004), měření mikroklima na rozhraní sedadlo člověk (Diebschlag a kol., 1988, citovaný Kolichem 2004).

Dočkalová (2005) uvádí názor Porter a Gyi (2003), podle kterého by primárním prostředkem predikce dyskomfortu měla být tlaková data na kontaktním rozhraní sedadlo člověk. Při pocitu nepohodlí má člověk tendenci změnit svou polohu, což se projeví změnou tlakového zatížení jednotlivých částí těla a posunem centra tlaku. Branton (citovaný Erbenovou, 2005) už v roce 1969 naznačil, že pokud dyskomfort během sezení dosáhne určité dostatečné intenzity, vyústí to ve změnu polohy při sezení.

Andreoni (2002) popisuje kriteria komfortu schválená návrháři sedadel, kteří požadují nízkou a rovnoměrnou distribuci tlaku bez zřejmých lokálních maxim. Tato maxima jsou nebezpečná při dlouhodobém sezení (Grieco, 1986, citovaný Andreonim, 2002), protože vyvolávají místní kompresi tkání a následnou špatnou krevní cirkulaci.

Dočkalová (2005) uvádí, že dalším vodítkem k objektivnímu měření dyskomfortu by mohlo být chování jedince během určitého úkolu. Tímto úkolem by mohla být jednoduchá úloha typu tracking task. V několika málo studiích se objevuje použití tracking task úlohy jako doplňkové metody v hodnocení jízdního výkonu při řízení.

Z uvedeného přehledu vyplývá, že dyskomfort nelze spolehlivě detekovat jedinou metodou. Jeho obtížná definice, daná především subjektivitou, znemožňuje navrhnout jednoduchý a univerzálně platný postup pro jeho detekci.

Rozhodla jsem se použít k detekci dyskomfortu kombinaci přímé a nepřímé metody, protože jediné tak mohu zachytit obě složky dyskomfortu. Použiji metodu tracking task spolu s dotazníkovou metodou. V prostudovaných studiích jsem se nikde nedočetla, že by tracking task použili k nepřímému ohodnocení dyskomfortu. Využívá

se k hodnocení výkonu, několik studií zkoumalo výkon řidiče za umělých podmínek. Dále v textu budu používat pro tracking task zkratku TT.

2.4 Tracking task

2.4.1 Obecná charakteristika TT

Pojem tracking task (TT) můžeme přeložit jako sledovací úlohu. Jednoduchou sledovací úlohu vykonávali už kdysi dávno vojáci při zaměřování cílového objektu a metodu jako takovou začali více využívat teprve piloti. TT lze využít jako jednoduchý test, který sleduje koordinaci oko-ruka a zpoždění zrakové a motorické odpovědi. Testuje senzomotorické funkce a může detekovat zhoršení koordinace oko-ruka, bez ohledu na příčinu (únava, nemoc, alkohol, léky, apod.). Přesný koordinovaný pohyb je vlastně jedním z nejnáročnějších pohybů pro člověka a vyžaduje stálé soustředění. Psychomotorické testy se již dlouho používají jako nástroje k měření chování operátora a podobné testy se používají i při sledování progresu léčby různých neurologických onemocnění. Základním požadavkem při provádění úlohy je vykonat správné pohyby ve správném čase, na vstupní informace odpovědět adekvátním výstupem.

Vstupy můžeme rozlišit na předvídatelné (např. řízení lodi ve vymezeném kurzu nebo letící letadlo ve stanovené nadmořské výšce) nebo nepředvídatelné (sledování neznámé cesty). Vstup určuje požadovaný výstup systému (například zakřivení silnice jako vstup určuje požadovanou trasu, kterou bude následovat automobil = výstup). Výstup lze obvykle chápat jako fyzikální odpověď kontrolovanou řídícím mechanismem.

Úkolem je sledovat určitý příkazový signál a co nejrychleji a nejpresněji na něj odpovědět. Opticky zadaný cíl se může sledovat manuálně ovládaným zařízením (joystick).

Z poznatků teorie řízení můžeme tento úkol nazvat uzavřeným systémem se zpětnou vazbou, kde vstupem je příkaz, výstupem je manuální korekce pozice sledovaného objektu a zpětnou vazbou je vizuální kontrola vlastní korekce. Přidáním dodatečné zpětnovazebné smyčky (například zesilovače), která vede mimo operátora, vznikne otevřený systém. Protože testovaný o zesílení nic neví, přesáhne cíl a korekce

se mu hned nepovede. Díky schopnosti adaptace na nové podmínky, může operátor svou chybu zmenšit. Na zpětné vazbě se také uplatňují proprioreceptory ruky a předloktí (Talbot, 1973).

Stark a kol. (1965) popisuje tři fáze odpovědi na působení náhlého sinusového vstupního signálu. První fáze je „reakční časové zpoždění“, druhá je „neurologická odpověď“, kdy subjekt začne dohánět správný směr kurzorem. Občas se subjekt pohybuje zpočátku v opačném směru, ale brzy se sám opraví. Subjekt brzy predikuje budoucí směr jednoduchého sinusového pohybu a je schopný fázový posun opravit, že nakonec synchronizuje svou odpověď se vstupním signálem a přechází do 3. fáze nazvané „predikovatelná odpověď“, která je ustálenou odpovědí na jednoduchý predikovatelný vstup. U experimentu s nepředvídatelným vstupem dochází k prodloužení fáze „neurologické odpovědi“ a vyloučení predikce.

U TT se hodnotí kvalita provedení úlohy, přesnost sledování cíle a zpoždění odpovědi. Johns (citovaný Talbotem, 1973) píše, že při provádění TT se mohou vyskytnout dva typy chyb. První označuje jako zpoždění, tzv. disjunktivní reakční dobu, která závisí jak na reakci testovaného, tak i na pozici cíle. Uvádí hodnoty tohoto reakčního času mezi $0,21 \pm 0,028$ s. Definuje tuto zpožďovací chybu jako výsledek reakční doby a amplitudy skoku.

Druhou možnou chybu označuje za kinetickou, která závisí na rychlosti a přesnosti, s jakou je sledován cíl.

Stark (citovaný Talbotem, 1973) píše, že čisté sinusové příkazy jsou sledovány bez chyb do frekvence 2 Hz. Do této frekvence testovaný sleduje bez fázového zpoždění. Na počátku předvídatelného sinusového TT při frekvenci pod 2-3 Hz je člověk schopný se během 0,5 – 1 sekundy adaptovat a dosáhnout perfektní fázové odpovědi. Tato frekvence je krajní pro efektivní práci neuromuskulárního systému. Stark dále zmiňuje, že předchozí zkušenost s prováděním úkolu nebo ostrost zraku hrají menší roli. Jiné studie naopak zkoumají možné omezení výkonu způsobené zrakovou ostrostí či pozorností (Seiffert, 2004). Dynamické vlastnosti motorického koordinačního systému člověka se liší v závislosti na fyziologickém stavu (Stark a kol., 1965).

Moskowitz a kol. (2000) se zmiňují ve své práci o účincích alkoholu na řízení o 4 typech TT. Jsou to adaptivní, stíhací, kompenzační a kritický TT. V adaptivní TT subjekt ovládá kurzor tak, aby co nejpřesněji sledoval pohyb cíle. Jde o typ, který se hojně používá a bude předmětem i mého experimentu. Při vykonávání stíhací TT má subjekt udržet kurzor ve stejné vzdálenosti od pohybujícího se cíle. V kompenzační TT jde o udržení kurzoru v předurčené pozici, zatímco určitá síla se pokouší oddálit kurzor a cíl (tento úkol je analogický s pokusem udržet pozici v jízdním pruhu za přítomnosti nárazů větru). Kritický TT je nestabilní kompenzační TT, kde silové působení postupně roste a úloha se stává stále více obtížnější. Tato úloha byla původně vyvinutá k měření schopnosti pilotů vyrovnat se s leteckými poruchami, později se začala používat i k detekci množství alkoholu. Podrobněji se zmíním o jednotlivých typech TT v přehledu jednotlivých prostudovaných studií.

2.4.2 Požadavky TT

TT lze asi nejlépe přirovnat ke hře na honěnou. Vyskytují se v ní dva prvky: uprchlík, který se nepředvídatelně pohybuje a pronásledovatel, který se ho snaží dohonit. Pokud se uprchlík nenechá zastavit, může tato hra trvat libovolně dlouho. Aktuální vzdálenost mezi uprchlíkem a pronásledovatelem se neustále mění: zkracuje se pokud pronásledovatel je rychlejší a zvolí správný směr, zvětšuje se, pokud uprchlík je rychlejší nebo dokáže zmást pronásledovatele nenadálou změnou směru.

Ve vědě má abstrakce této dětské hry význam při měření výkonu osob při řízení (máme na mysli nejen řízení aut, ale i pilotování, či jinou operátorskou činnost). Výkon člověka při tomto typu úlohy přitom závisí na dvou vlastnostech: rychlosti reakcí a senzomotorických schopnostech. Vhodnou volbou parametrů TT je přitom možné přidělit těmto dvěma vlastnostem různou váhu.

Úloha zaměřená na určení rychlosti reakcí člověka vyžaduje velice jednoduché ovládání, které eliminuje vliv senzomotorických schopností člověka. Příkladem může být ovládání pomocí malého množství jednoznačně definovaných příkazů, ideálně pouze pomocí jednoho jediného (například stisk velkého tlačítka). Změny cíle musí být nepředvídatelné (interval mezi změnami náhodné s dostatečně velkým rozptylem). Měří se prodleva mezi změnou cíle a reakcí člověka.

Úloha zaměřená na určení senzomotorických schopností člověka bude naopak poskytovat ovládání s velice jemnou rozlišovací schopností (například kvalitní joystick). Pohyb cíle by měl být předvídatelný, protože se tím eliminuje vliv reakční doby člověka (musíme však na začátku poskytnout čas na naučení se trajektorie cíle). Důležitá je rychlost pohybu cíle, protože přímo ovlivňuje obtížnost úlohy. Při tomto typu úlohy se měří prostorová odchylka cíle od pronásledovatele.

Naším cílem je navrhnout experiment co nejjednodušší. To jednak usnadní jeho provádění, ale především umožní jeho zobecnění pro naprostou většinu řídicích úloh prováděných v reálném čase. Je otázkou, zda se míra dyskomfortu projeví více v reakčním čase či senzomotorické odpovědi jedince nebo zda se dyskomfort vůbec nějak projeví na výkonu.

2.4.3 Parametrizace TT

Pro TT nejprve nadefinujeme neměnné předpoklady. Vyplývají z požadavků zmíněných v předchozí kapitole:

- Úloha je tvořená jediným uzavřeným řídicím systémem.
- Ovládání provádí jediný lidský operátor prostřednictvím ovládacích prvků počítače.
- Výstup pro operátora se zobrazuje na obrazovce počítače s minimálním zpožděním: zde předpokládáme že zpoždění je člověkem nepostřehnutelné, tedy nejvýše v řádu desítek milisekund).
- Sledovaný cíl se bude pohybovat nezávisle na akcích operátora.
- Úloha je opakovatelná pro dané nastavení parametrů, přičemž obtížnost je při opakování konstantní.

Předpoklady, které jsme právě definovali hrubě vymezují podobu TT. Nyní popíšeme volitelné parametry, pomocí kterých lze úlohu přizpůsobovat při volbě experimentu. Naším cílem je umožnit měnit obtížnost úlohy a vybírat mezi zaměřením na senzomotorické schopnosti a zaměřením na dobu reakce.

- Rychlost/Intervaly pohybu cíle v průběhu experimentu: V případě že se jedná pohyb ve skocích, může se jednat o intervaly mezi jednotlivými skoky cíle. Požadujeme dvě možná nastavení:
 - Konstantní rychlost/interval pohybu – nastaví se jedinou konstantou
 - Náhodná rychlost/interval pohybu – bude generována náhodně, nastaví se pomocí střední hodnoty a směrodatné odchylky.
- Dráha cíle: opět zde máme dvě možnosti
 - Uzavřená známá dráha – cíl opisuje křivku, která se po určité době vrátí do výchozího bodu, dráha pohybu je předem známá (může být zobrazená na obrazovce).
 - Náhodná dráha – cíl se pohybuje nepředvídatelně pro testovaného, směr se určí náhodně. Lze volit volnost pohybu jako počet os (jedna nebo dvě) ve kterých se cíl smí pohnout.
- Citlivost ovladače – špatně zvolená citlivost ovladače má nepříznivý vliv na výkon operátora. Je nutné mít možnost citlivost upravit (kalibrovat), pro všechny experimenty by však měla být nastavena stejně.

2.4.4 Faktory ovlivňující výkon TT

Výkon při provádění TT může ovlivnit celá řada faktorů. Jeden z faktorů může vyplývat z obtížnosti (Parametrizace TT) a doby trvání úlohy. Další faktory bychom mohli rozdělit na vnitřní a vnější. Do vnitřních faktorů lze zařadit aktuální psychický a fyzický stav, motivaci k maximálnímu výkonu, únavu, zkušenost s prováděním úkolu. Vnější faktory reprezentuje okolní prostředí, kde se úloha provádí (teplota, hluk, vibrace, osvětlení, ergonomická úprava prostředí). Vlivem vibrací na výkon TT se zabývá např. Martin a kol. (1991, 1999). Dyskomfort jako soubor „nepříjemných pocitů“ také může ovlivnit výkon, zejména ve své velké intenzitě.

Výkon může narušit i další úkol jako je například vyplňování dotazníku a odpovídání na otázky. Vhodně zvolený stupeň obtížnosti úlohy může zaručit do určité míry pozornost testovaného, protože bude mít dostatek stimulů v monotónní činnosti.

„Primárním ukazatelem výkonnosti člověka je pozornost, jež nejvíce podléhá vlivu únavy“. „Pokles soustředěnosti a stálosti pozornosti se pokládá za nejtypičtější příznak snížení výkonnosti.“ (Lokša, 1999, str. 53).

Studie pozornosti ani únavy není v popředí zájmu mé práce, a proto jsem se blíže touto problematikou nezabývala. Směrodatné faktory pro tuto studii je správné nadefinování obtížnosti a délky trvání úlohy. Dalším limitem je šířka frekvenčního pásma signálu, autoři udávají pojem maximální frekvence náhodného vstupu, který může být sledován s relativně nízkou chybou. Tuto hodnotu udávají v rozmezí 0,5-1 Hz (u předvídatelného pohybu do 2-3 Hz).

2.4.5 Přehled jednotlivých studií TT

Stíhací TT

Studie Strayera a kol. (2001) použila stíhací TT ke zhodnocení vlivu konverzace mobilním telefonem na řidičský výkon. Experimentu se zúčastnilo 64 studentů ve věku 18-30 let. Všichni byli bez zrakové vady. Testování prováděli TT na obrazovce počítače a ke sledování cíle používali joystick. Měli udržet kurzor na cíli, který se pohyboval plynule a souvisle, avšak podstatně nepředvídatelně. Pozice cíle se aktualizovala každých 33 ms a byla určena součtem 3 sinusových křivek (0,07 Hz, 0,15 Hz a 0,23 Hz). V intervalech od 10 do 20 sekund cíl zazářil červeně nebo zeleně a testování měli zmáčkнут „brzdící tlačítko“ palcem na vrcholu joysticku, jakmile uviděli červené světlo. Při rozsvícení zeleného světla pokračovali ve sledovacím úkolu jako obvykle. Rozsvícení červeného nebo zeleného světla mělo stejnou pravděpodobnost a byly rozsvíceny v nepředvídatelném pořadí. Testování měli čas 7 minut na nacvičení TT. Pak 7,5 minuty prováděli samotný TT a následující 7,5 minuty prováděli TT za současné konverzace nebo poslouchání radia. Hodnotila se pravděpodobnost zmeškaných světelných signálů za obou podmínek (TT bez a za současné konverzace) a průměrné reakční časy na světelné signály. Zjistili, že testování, kteří byli zapojeni do konverzace po mobilu zmeškali dvakrát více světelných signálů než ti, kteří nehovořili a měli delší reakční čas odpovědi na světelný signál, nezávisle na použitém mobilním telefonu (s

nebo bez hands free). Tvrdí že, konverzace po mobilním telefonu vede k významnému snížení výkonu při simulovaném řízení.

Shook a Akin (2001) použili stíhací a kompenzační TT k testování skafandrových rukavic. K ovládání použili myš, touchpad, joystick a magnetický pohybový senzor. Tři stíhací TT měli různé trajektorie: jednoduchou sinusoidu, „modifikovanou“ sinusoidu a skokovou sinusoidu. Kompenzační TT měl sinusovou křivku. Na obrazovce byly zobrazené dvě ikony, cílová, která byla umístěná nad ovládací ikonou. Snažili se co nejpřesněji sledovat cílovou ikonu. První úloha sledovala jednoduchou sinusovou křivku se stálou amplitudou. Druhá úloha sledovala „modifikovanou“ sinusovou křivku, kde amplituda zůstala stálá, zatímco frekvence rostla během provádění. Třetí skokový úkol začínal s cílovou ikonou na nule a skočil na nastavenou vzdálenost na obrazovce.

U kompenzační TT viděli testovaní na obrazovce ikonu a vertikální čáru. Pokoušeli se držet ikonu na čáře. Použili jednoduchou sinusoidu, stejnou jako u první úlohy. Výkon měřili subjektivně i objektivně. Střední chybu počítali pro všechny úlohy. Na subjektivní hodnocení použily modifikovanou Cooper Harper hodnotící škálu pro každé ruční ovládání za všech podmínek různých rukavic.

Experiment probíhal celkem za 3 podmínek nošení rukavic a ve 4 typech TT. Každé sezení trvalo 1,5 hodiny. Vykonali pět třicetisekundových pokusů za každých podmínek všech testovacích úloh. Nejdříve s holýma rukama a pak s tlakovými a beztlakovými rukavicemi. Po ukončení úlohy vyplnili dotazník. Střední chybu hodnotili pomocí analýzy rozptylu (ANOVA).

Kompenzační TT

Parasuraman a kol. (1996) zkoumali vliv vykonávání složité úlohy postavené na simulaci letu na selhání jednoho automatického systému. Vycházeli z předpokladu, že pilot, který se moc spoléhá na automatizaci může za určitých podmínek mít větší problémy při detekování selhání systému. Prováděli víceúkolovou simulaci letu, která zahrnovala různé úlohy (sledování, správu pohonných hmot a monitorování stavu motoru). Dvě skupiny účastníků vykonávali buď všechny 3 úkoly simulace letu zároveň (multikomplexní úkol) nebo samotný monitorovací úkol (jednoduchý úkol). Použili

kompenzační TT s joystickovým ovládáním. Účastníci měli udržet zelený kruhový kurzor co nejbližší nitkovitému kříži, který byl umístěn ve středu displeje. Kurzor se pohyboval ve směrech os x a y , podle specifikovaného silového působení, které se skládalo ze součtu sinusoid. Výkon vyhodnotili vzorkováním řídicích vstupů x a y při frekvenci 10 Hz, čímž se vyhodnocovala odchylka na ose x a y . Jedno sezení trvalo 30 minut.

Freeman a kol. (1999) se zabývali adaptivní automatizací, což vysvětlují jako schopnost systému měnit úroveň odpovědi na situační nároky. V experimentu použili EEG a kompenzační TT. Uvádí názory některých autorů, že nárůst beta aktivity by mohl odrážet vyšší stupeň bdělosti a větší zapojení do úkolu a naopak nárůst alfa nebo theta aktivity způsobí opak. Účastníci vykonávali kompenzační TT, během něhož se zaznamenávala EEG aktivita. Účastníci prováděli kompenzační TT na PC pomocí joysticku. Měli udržet pohybující se kruh o průměru 1 cm na kříži umístěného uprostřed obrazovky. Pohyb kruhu byl řízen součtem 5 sinusových vln, které byly mimo fázi. Při nedostatečném ovládání se kruh vzdaloval od středu kříže. Měli 5 minut na nacvičení úlohy a joystick ovládali pravou rukou. Experiment provádělo 12 účastníků, za 3 podmínek. Polovina skupiny začala provádět úkol za podmínek pozitivní a další polovina za negativní zpětné vazby. Polovina začala v manuálním režimu a druhá v automatickém. Účastníci prováděli TT 16 minut, při kterém se střídaly 4 minutové bloky pozitivní a negativní zpětné vazby. Celkem prováděli 3 stejné pokusy v 5-minutovém intervalu. Výkon hodnotili odchylkou od středu cíle v pixelových jednotkách a vypočítali střední kvadratickou chybu.

Scott Makeig a kol. (1996) použili kompenzační TT pro monitorování bdělosti. Úlohu prováděli na počítači a používali kulový ovladač k udržení kulatého disku na kruhovém terči ve středu obrazovky. Pozadí obrazovky bylo černé, disk světle šedý a cílový kruh tmavě šedý. Poloha disku byla definována jako funkce předešlé pozice a rychlosti a činností tří sil. První síla neustále měnila směr a velikost a vznikla součtem šesti sinusoid různých amplitud a frekvencí. Druhá síla simulovala gravitační sílu a třetí byla vlastní uživatelův vstup. Uvádí, že odlišení mezi výkonem bdělého a ospalého může být dosaženo rozlišením času, kdy cíl uniká, a kdy je subjekt schopný držet cíl blízko své nejlepší hodnotě zjištěné během tréninku. Experimentu se účastnilo 12

subjektů a trénovaly hodinu ve 12 dvouminutových blocích, oddělených dvouminutovou relaxací. Hodnotili střední kvadratickou hodnotu vzdálenosti cíle od středu obrazovky.

Kritický TT

Jex a Klein (1975) ve své studii uvádí, že kritický TT je formou kompenzační TT, kde se nepřetržitě zvyšuje obtížnost pokusu. Míra nárůstu nestability úlohy je přímo souvislá s množstvím a velikostí chyb, které operátor udělal. Jex je považován za autora tohoto typu TT.

Autoři v jedné ze svých studií použili kritickou TT k rozlišení subjektů pod vlivem alkoholu od střízlivých. Uvádí, že tato úloha je mnohem citlivější na „alkohol“ než ostatní TT. Kritický TT je uzavřená smyčka kompenzační TT, v kterém je dynamika řízených částí nestabilní, a poskytuje tak citlivé měření časového zpoždění operátora a překročení kapacity vytížení (Jex). S růstem nestability se stává ovládání více obtížné a hodnotu, ve které operátor ztratí kontrolu označují jako „kritická úroveň nestability“. Jejich experimentu se zúčastnilo 14 mužů a 6 žen, kteří před testováním vyplnili dotazník na rozlišení jejich zvyklostí v pití alkoholu. Seděli u stolu, kde byl displej, izometrická ovládaná tyč a dynamicky ovládací část. Jejich experiment probíhal na displeji, který ukazoval horizontální čáru přibližně 1mm silnou. Mezi palcem a ukazováčkem drželi izometrickou ovládací tyč. Úroveň nestability λ rostla lineárně v čase a úkol se stával stále více obtížnějším. Sledovali pohyb vertikální čáry, a když se dostali za hranici displeje a ztratili kontrolu, tak se údaj zaznamenal. Při ztrátě kontroly, systém automaticky uvedl operátora do „držení“. Trénovali nejméně ve 3 dnech. Motivaci udržovali slovním povzbuzováním a peněžní odměnou za dobrý výsledek. Po podání dávky alkoholu vykonávali úlohu zhruba ve 30 minutových intervalech. Celkem podali 3 dávky alkoholu a prováděli klinické testy na intoxikaci.

Boer a kol. (1998) ve svém experimentu vycházeli z poznatků Jexe a provedli podobný experiment, kdy bylo úkolem subjektu minimalizovat laterální pohyby kříže, který byl zobrazený uprostřed obrazovky počítače. Kříž ovládali pomocí myši. Pokusy byly ukončené, když se kříž odchýlil od středu více než na šířku obrazovky.

Studie A. Degia a kol. (2004) se zabývala působením psychoaktivních látek na výkon při řízení. Kritický TT prováděli na PDA a na PC. Testovaný sledoval pohybující se cíl a přitom odpovídal na další úkol. Když uviděl silniční značku, měl stisknout tlačítko, kromě situace, kdy byla uvedena s cílovým podnětem.

Významné rozdíly ve výkonu se projevíly v průměrné sledovací chybě mezi podáním placebo a velké dávky alkoholu, reakční čas vzrostl jak pro vysokou, tak i nízkou dávku alkoholu. Objevily se i odlišné výsledky na konci testu v odchylce při sledování mezi nízkou a vysokou dávkou alkoholu a mezi podáním placebo. Porovnáním provádění experimentu na PDA a PC zjistili, že testování na PC bylo citlivější. Sledovací chyba a reakční čas se významně lišily při podání velké a malé dávky alkoholu.

Adaptivní TT

El Falou (2003) a kol. použili TT jako jednu z metod k hodnocení dyskomfortu. Studovali vývoj únavy, dyskomfortu a výkonu na dvou různých sedadlech. Experimentu se zúčastnilo 11 mužů a žádný z nich neudával muskuloskeletální nebo neurologické potíže, které by předcházely účasti studie. Vytvořili 4 experimentální uspořádání: 2 typy sedadel, jedno pohodlné a druhé nepohodlné, sedadlo s nebo bez vibrací. Experiment trval 150 minut a jednotlivá měření probíhala v náhodných intervalech, které trvaly 5 minut (3 minuty na zhodnocení výkonu testovaného člověka a 2 minuty na měření subjektivního dyskomfortu). Měření se provedlo celkem 7x a na začátku se vždy měřila reakční doba. Výkon se hodnotil ze dvou hledisek. Měřila se reflexní odpověď na sluchový podnět a výkon při jednoduché TT. Při prvním úkolu, měl testovaný hned jak slyšel zvukový stimul pohnout odporovým vláknem, které bylo umístěno mezi ukazovákem a palcem. Zvukový signál se objevoval v náhodných intervalech.

Při provádění TT testovaný sledoval pohybující se kruh na počítačové obrazovce a snažil se udržet kurzor uvnitř v kruhu. Testovaný měl před vlastním měřením čas k nacvičení úkolu (minimálně 4 minuty). Jako měřítko výkonu brali čas vyjádřený v procentech, po který zůstal kurzor uvnitř kruhu. K hodnocení výsledků použili statistickou analýzu. Zjistili, že významně poklesl výkon při provádění TT na nepohodlném sedadle s vibracemi a na tomto sedadle se rovněž významně zhoršily

reakční časy. Zhoršení výkonu i reakční doby nastalo už při prvním měření (po 20 minutách byly patrné rozdílnosti ve výkonu). Na pohodlném sedadle bez vibrací nebyly zaznamenány významné poklesy ve výkonu, či reakčním čase.

Monk (2002) ve své studii použil TT v kombinaci s další úlohou, aby zjistil, jaké jsou nároky řidiče na pozornost při přerušení určitého úkolu. Účastníci studie se střídali ve dvou úlohách, programováním videorekordéru (VCR) a TT. Experiment probíhal na počítači a účastnilo se ho 21 studentů. Při programování VCR používali myš na potvrzení startu, konce, dne a čísla kanálu. Při TT měli testovaní udržet kurzor myši na letadle, které se pohybovalo po obrazovce v náhodných typech provedení. Pohled na letadlo byl přímo zezadu, takže pozorovaný pohyb byl horizontální a vertikální. Nastavení obtížnosti TT bylo definováno pouze rychlostí, kterou se letadlo pohybovalo (pomalá rychlost pro lehké provedení a rychlá pro obtížné provedení). VCR úkol probíhal na levé straně monitoru a TT na pravé. Pro testovaného byla viditelná jen jedna strana v určitém čase.

Primární byl VCR úkol, který trval 5 sekund, pak byl přerušen TT na 3, 8 nebo 13 sekund a znovu pokračoval VCR úkol, dokud nebyl dokončený. Každý účastník byl nejdříve seznámen s VCR úlohou i TT. Po 2 zkušebních pokusech, provedli 6 experimentálních pokusů, pokaždé s novými naprogramovanými informacemi. Žádné podmínky ale nebyly pro účastníky moc náročné, i když k úspěšnému vykonání byla zapotřebí maximální soustředěnost a pozornost. K hodnocení dat použili analýzu rozptylu (ANOVA). Výsledky ukázaly, že záleží v kterém časovém období je úloha programování VCR přerušena. Nejnižší čas, kdy se testovaný vrátil zpět ke své úloze po náhlém přerušení, byl zaznamenán v období před zahájením nového úkolu. Nebyl výrazný rozdíl mezi prováděním TT za lehkých a těžkých podmínek, ale studie prokázala, že při přerušení úlohy uprostřed nebo ke konci je potřeba delší čas na vrácení zpět.

M. Daanen a kol. (2003) hodnotili jízdní výkon v závislosti na okolní teplotě. Experimentu se účastnilo 50 osob, které vykonávaly „silniční“ TT v chladném (5°C), termoneutrálním (20°C) nebo teplém (35°C) prostředí. Experiment se prováděl na simulátoru v klimatické kabině, která byla rozdělena na 6 úseků. Testovaní měli na sobě spodní prádlo, ponožky a tričko za všech teplotních podmínek. Monitor byl umístěn za

volantem a ukazoval informace o experimentu, silnici pro řídicí úkol a dotazník. Testování měli za úkol jet v pravém jízdním pruhu. Řídicí úkol trval dvakrát 7 minut, hodnoceno bylo 5 minut. Měření probíhalo dvakrát, s možností a bez možnosti použití topného tělesa/větráku. Během jízdy se zvyšoval boční vítr každých 15 sekund (boční vítr byl představován jako stranová odchylka ze silnice). Poloha na silnici a standardní odchylka boční pozice byla snímána 30x za sekundu a uložena na disk každých 15 sekund. Autor uvádí, že standardní boční odchylka je důležitý ukazatel výkonu řízení. Termální komfort hodnotili stupnicí od -4 (velmi chladný) po +4 (velmi horký), dále hodnotili dotazníkem pocity u jízdního výkonu a rizikové chování.

Ke statistickému zhodnocení použili analýzu rozptylu. Řidičský výkon se v extrémních teplotách snížil o 16% v chladném prostředí a o 13% v teplém. Autoři uvádějí, že termoneutrální teplota v autě vylepšuje řidičský výkon a může tak pozitivně ovlivnit bezpečnost. Použití manuálního klimatického ovládání tepla nebo chladu v autě podle autorů může zasahovat do řídicího úkolu. Jedinci, kteří neměli možnost ovlivnění teploty podali lepší jízdní výkon než ti, kteří měli možnost teplotu okolí ovlivňovat

Daanen cituje názor Lockharta (1975), že manuální zručnost se v chladu značně snižuje, hlavně pro jemné obratnostní úkoly.

Engel a Anderson (2000) se ve své studii zabývali podobností odezvy očního a ručního sledování na změnu směru pohybu cíle. Testování sledovali očima a rukou pohyb cíle, který udržoval konstantní rychlost a prováděl jednoduché neočekávané změny směru.

Experimentu očního sledování se zúčastnilo 5 lidí, kteří neměli oční vadu. K monitorování očních pohybů použili elektromagnetické snímání očních pohybů umožňující přesnou registraci pohybu oka ve 3 rovinách. Cíl prezentoval červený bod, který byl promítán na dotykovou obrazovku umístěnou 150 cm před člověkem. Každý experiment začal přemístěním cíle z centrálně držené pozice přímo před pravé oko testovaného do pozice 20° nahoru. Po 1.5 sekundě se cíl začal pohybovat dolů konstantní rychlostí střídavě 15 a 30°/s v po sobě jdoucích experimentech. Když cíl dosáhl náhodné pozice mezi 5° a 10° pod horizontální rovinou, změnil náhle směr (11 směrů). Po změně směru, mohl cíl pokračovat dokud nedosáhl úhlové posunutí 20°

vlevo nebo vpravo, nebo 20° nad nebo pod centrální pozici pohledu. Po celou dobu pokusu, cíl udržoval konstantní rychlost. Každé sezení se skládalo z 88 pokusů, které netrvaly déle než 45 minut. Záznam pohybu očí byl analyzován prostřednictvím uživatelského softwaru.

Experimentu s ručním sledováním se účastnilo 6 lidí. Pozice prstu byla zaznamenána dotykově senzitivní obrazovkou monitoru počítače. Praváci seděli přibližně 50 cm od dotykové obrazovky a sledovali svůj pravý ukazovák. Pohyb cíle byl podobný jako při očním sledování a rychlost pohybujícího se cíle zůstala konstantní během všech experimentů.

Engel a Anderson popsali ruční a oční sledování založené na dvou proměnných: rychlosti a směru. Ukázali, že při změně pohybu směru cíle oči rotují z jednoho směru do druhého. Rychlost změny směru sledování roste lineárně s úhlovými stupni změny pohybu cíle jak pro okulomotorické tak i ruční sledování. Zjistili, že rychlost manuálního a očního sledování se zpomalila před změnou směru sledování a byla úměrná změně směru cíle. Rychlost, jakou oko a ruka mění směr po náhlé změně směru cíle byla nápadně podobná. V obou případech poměr mezi rychlostí a směrem byl srovnatelný, s významně klesající rychlostí před změnou směru. Podobnost těchto 2 pohybů naznačuje, že existuje společná složka neurálního substrátu, která generuje motorické příkazy pro oba systémy.

Autoři zmiňují názor Van Donkelaar (1994), který ukázal, že během manuálního sledování bez zrakové zpětné vazby pozice ruky, testovaní byli schopni srovnat rychlost cíle, ale ne snížit poziční chybu.

Kaneo Hiramatsu a Hiroshi Uno (1996) se ve své studii zabývali výkonem starších řidičů při změně předváděcího času během TT. Experiment prováděli na simulátoru řízení JARI. Experimentu se účastnilo 10 dvacetiletých, 10 čtyřicetiletých a 15 osob starších než 65 let (nejstaršímu bylo 81 let). Předváděcí čas se měnil v 7 úrovních od 0 do 4 sekund. Sedm úrovní bylo v časech 0, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 a 4.0 sekundy. Starší osoby prováděly jen 5 úrovní (kromě 0.2 a 3.0s) k udržení jejich vysokého stupně vnímavosti. Testovaný řidič měl ovládat stopovku a následovat směr cíle uvedený na monitoru. Stopovka se pohybovala v souladu s volantem, na kterém

byla naprogramovaná boční hybnost vozidla. Test probíhal v rychlosti 60 km/h. Cíl se posunoval směrem dolů. Rychlost posunování směru cíle, který testovaný sledoval se měnila s předváděcím časem. V každém předváděcím čase měl každý testovaný čas 2 minuty na vykonání TT. Po každém úkolu se testovaného ptali na stupeň obtížnosti úkolu v dotazníku, který subjektivně hodnotil úlohu od „velmi těžké“ po „velmi lehkou“.

Míra odchylky je definována jako procento času, z něhož se stopovka odchýlila od směru cíle proti celkovému času experimentu (to je 2 minuty). S růstem předváděcího času se míra odchylky zmenšovala a největší míra odchylky byla zaznamenána u skupiny nejstarších řidičů. Ve skupině 20- a 40-letých se míra odchylky ustálila na střední hodnotě kolem 0.5 sekundy, ale starší řidiči potřebovali delší předváděcí čas blížící se 1 sekundě ke stabilizaci sledovacího výkonu.

Rychlost volantu se zmenšovala, když se zvětšoval předváděcí čas. Ve věkové skupině 20- a 40-letých se rychlost postupně přiblížila střední hodnotě přes 1 sekundu převáděcího času. U starších řidičů to není tak zřejmé, ale těsně kolem 2 sekund se stabilizovali. Při subjektivním hodnocení jednotlivých předváděcích časů se u skupiny starších řidičů projevila určitá rozdílnost vzhledem k objektivním ukazatelům výkonu. Starší řidiči hodnotili TT jako lehčí v porovnání se skupinami 20- a 40-letých, i když sledovací dovednosti v míře odchylky a rychlosti volantu ukazovaly jejich nižší výkon. V TT ukazovala skupina starších řidičů nižší výkon v každém ukazateli. Skupiny 20- a 40-letých stabilizovaly svůj výkon v čase 0.5 sekundy předváděcího času, ale skupina starších řidičů potřebovala víc než 1 sekundu.

Murata a Makoto (2005) se ve svém výzkumu zabývali tím, jak počet a uspořádání přepínačů na volantu ovlivní výkon řidiče. Jednou z použitých metod byl TT. Cíl se náhodně pohyboval horizontálním směrem a účastníci ho měli sledovat vertikální úsečkou („kurzorem“) ovládanou volantem. Cílové signály byly vytvářeny sečtením přiměřeného počtu harmonických sinusoid různých fází, čímž vzniklo několik pseudo-náhodných signálů, které nebyly periodické. Pozice cíle se měnila každé 0.2 sekundy a odpovědi byly měřeny také každé 0.2 sekundy. Během sledovacího úkolu se měřila sledovací chyba kurzoru. TT trval 2 minuty. Opakoval se 2x a mezi prvním a druhým sezením měli povolenou pauzu kolem 1 minuty. Celkem prováděli 3

experimenty: TT, jednoduchý sekundární úkol a nakonec oba předchozí současně za celkem 12 experimentálních podmínek.

Při vykonávání sekundárního úkolu měli stisknout přepínač na volantu, který byl uvedený na displeji. Na levé straně volantu byly umístěné číselné přepínače a na pravé přepínače ukazatelové přepínače. Mezi pokusy (celkem 40) byl interval od 3-5 sekund. Účastníci nemohli předvídat čas, kdy bude dána instrukce ke stlačení přepínače. Účastníci drželi ruku ve středu přepínacího systému na volantu a úkol vykonávali palcem tak rychle a přesně, jak bylo možné. Před prováděním úkolu si účastníci nastavili pohodlnou pozici sedadla a měli čas si nacvičit primární a sekundární úlohu. Společně vykonávali primární a sekundární úkol v 6 různých podmínkách. Účastníci vykonávali stisknutí přepínače během provádění sledovacího úkolu. Po ukončení experimentu měli vyhodnotit snadnost přepínacího procesu a celkové pracovní zatížení v 7-bodové stupnici, kde 1 je „velmi obtížné“ a 7 je „velmi lehké“.

Ke zhodnocení použili analýzu rozptylu (ANOVA). Výkonnost byla vyhodnocena střední sledovací chybou měřenou mezi pohybujícím se cílem a kurzorem, průměrným reakčním časem (střední čas od stimulu na displeji do dokončení stlačení přepínače, procentem správnosti sekundárního úkolu a hodnocením celkového pracovního zatížení a snadnosti procesu přepínání během sekundárního a duálního úkolu). Správnost pokusu může být definována jako případ, ve kterém byl přepínač na displeji správně stisknut. Ostatní případy byly definovány jako chybné pokusy. Sledovací chyba byla měřena 600x (5x za sekundu pro 2 minuty experimentu). Počet a umístění přepínačů neovlivnilo procento správnosti v sekundárním úkolu a sledovací chybu v primárním úkolu. Reakční čas v přepínacím procesu rostl jako funkce počtu přepínačů. Jako nejlepší ze všech 6 podmínek vyšlo uspořádání do kříže se 3 přepínači.

Barnes a Marsden (2002) se zabývali anticipačními pohyby ruky a oka během okulo-manuálního sledování. Experiment probíhal v tmavé místnosti na polokruhové obrazovce. Hlavu měli účastníci znehybněnou a v úrovni očí se v intervalech objevovaly cíl jako bílý kruh a kurzor ve formě zeleného kruhu. Cíl i kurzor se pohybovaly po horizontální ose. Pohyb kurzoru byl uskutečněn pomocí potenciometru a zařízení, které reagovalo na flekční a extenční pohyby zápěstí. Posun zápěstí - kurzor byl nastaven tak, že pohyb $\pm 20^\circ$ kurzoru na obrazovce byl dosažen flexí/extenzí zápěstí

$\pm 30^\circ$. Úkolem bylo vyrovnat co nejpřesněji zelený kurzor s bílým cílem. Výsledky studie ukázaly, že člověk přirozeně provádí anticipační pohyby rukou na očekávané pravidelně se opakující pohyby cíle. Anticipační plynulé oční pohyby se objeví jen při vysokém stupni očekávání pohybu cíle, jinak dominují sakadické pohyby očí.

3 Metodologie

Experiment provedený v rámci této práce je tzv. „pilotní experiment“, který využívá úlohu typu TT k detekci dyskomfortu. Cílem experimentu je otestování vhodnosti této metody při detekci dyskomfortu.

Práce je řešena v rámci grantu MŠMT ME 701: „Vytváření neuro-informačních bází a vytěžování poznatků z nich“. Experimenty byly provedeny v programu *TT++* verze 0.1.6.

3.1 Organizace experimentu

Před vlastním zahájením experimentu osoba vyplnila krátký dotazník o aktuálním psychickém a fyzickém stavu a nastavila si pohodlně výšku židle, monitor a joystick. Před provedením úlohy měla osoba čas si nacvičit pohyb joystickem a sledování cíle. Osoba byla předem seznámena s pojmem dyskomfort a subjektivními dotazníky, který vyplňovala druhá osoba v průběhu celého experimentu, a bezprostředně po skončení úlohy. Osoba měla co nejpřesněji sledovat pohyb cíle pomocí joysticku a v okamžiku vzniku dyskomfortu informovat osobu, která zaznamenala do formuláře jeho lokalizaci a intenzitu.

Experiment probíhal na běžném osobním počítači vybaveným joystickem. Vyhodnocení experimentu probíhalo v laboratořích FTVS v programu Matlab (Fourierova analýza) a na mém domácím počítači (zde byl použit standardní kancelářský balík Open Office.org pro vytvoření grafů). Statistické výpočty byly provedeny v programu Slučovač (viz část 3.5.1).

3.2 Pokusné osoby

Experimentu se zúčastnily 3 osoby (2 muži a 1 žena), všechny zdravé, ve věkovém rozmezí 20-30 let. Tato studie je pilotní, jejím cílem je tedy rozbor situace a pozorování daného jevu. Proto jsem si vybrala jen malý vzorek zkoumaných osob, protože úkolem není vytvoření obecně platných norem pro širokou populaci. Všechny osoby byly z řad dobrovolníků, výběr byl náhodný, protože metoda detekce dyskomfortu by měla být

vhodná pro jakoukoliv skupinu lidí bez ohledu na věk, pohlaví či tělesnou stavbu. Osoby nebyly před prováděním experimentu vystaveny žádným látkám, které by nějakým způsobem ovlivňovaly jejich psychiku a schopnost koncentrace.

Před měřením jedinci vyplnili krátký vstupní dotazník, který obsahoval základní data o daném jedinci (věk, pohlaví), dále informace o životním stylu, fyzické aktivitě, případné problémy či bolesti v pohybovém aparátu. Osoby jsou dále ve výsledcích pojmenovány pro přehlednost počátečními písmeny jména (*M, P, V*).

3.3 Vymezení

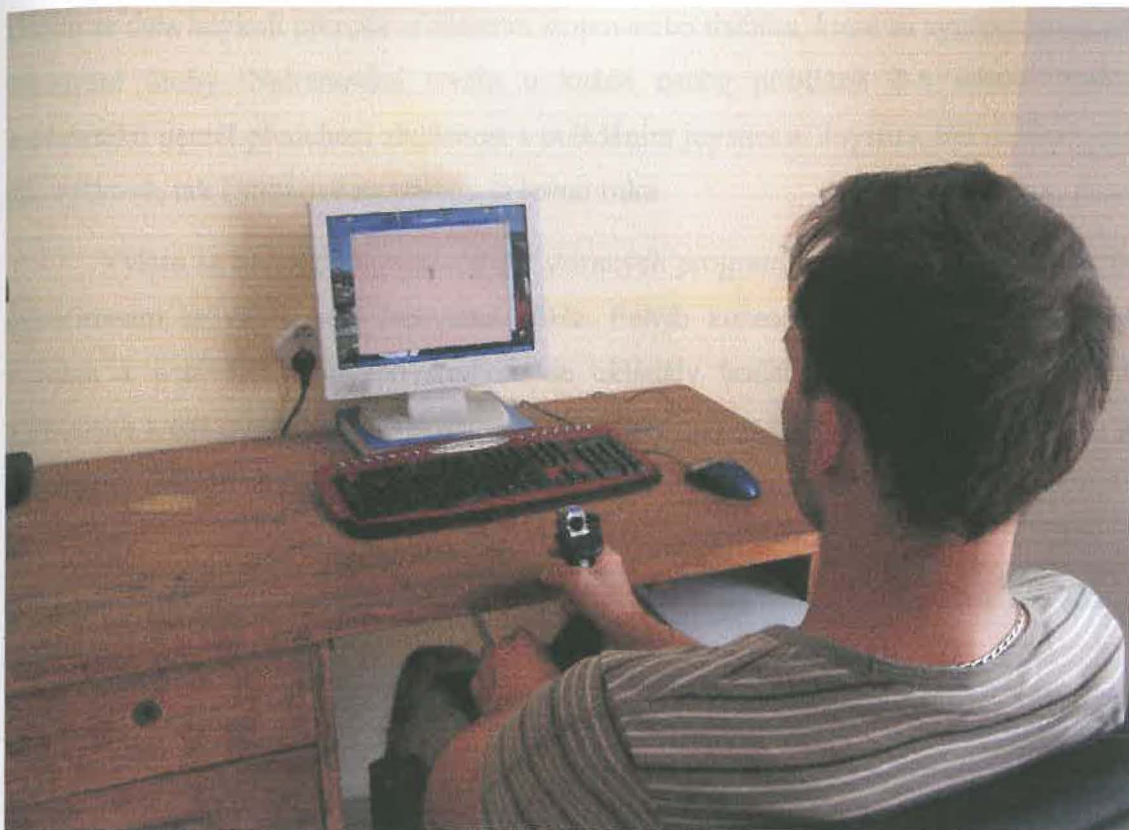
Experiment probíhal za umělých podmínek a ergonomicky upravené prostředí nebylo v popředí zájmu experimentu. Osoba si nastavila židli, monitor i joystick do takové pozice, jak jí nejvíce vyhovovalo. Kompenzovaná zraková vada nebyla překážkou měření.

3.4 Použité metody detekce

K detekci dyskomfortu jsem použila kombinaci dvou metod. Subjektivní dotazník, jako jednu z nejčastěji používaných metod, a tracking task, který k hodnocení dyskomfortu nebyl ještě nikdy použit.

3.4.1 Tracking task

Program *TT++* byl vytvořen tak, aby byl co nejjednodušší na ovládání a mohl fungovat na běžném počítači. Přehledné a jednoduché menu programu umožňuje nastavení vzorkovací frekvence, frekvenci cíle a dobu měření. Vzorkovací frekvence byla nastavena stabilně na 25 Hz, maximální hlavní frekvence na 0,5 Hz a doba měření se nastavila v minutách pro každou úlohu zvlášť (od 30 minut do 120 minut). Obtížnost úlohy daná frekvencí pohybu cíle zůstala konstantní během provádění všech experimentů. Pozice cíle v čase byla definována superpozicí tří sinusoid o frekvencích $f_1 = 0,5\text{Hz}$, $f_2 = 0,25\text{Hz}$, $f_3 = 0,1\text{Hz}$.



Obrázek 3: Subjekt provádějící TT úlohu

Rovnice definující časovou závislost souřadnice cíle na ose y vypadá následovně (a_1, a_2, a_3 jsou modifikátory amplitudy, t je čas):

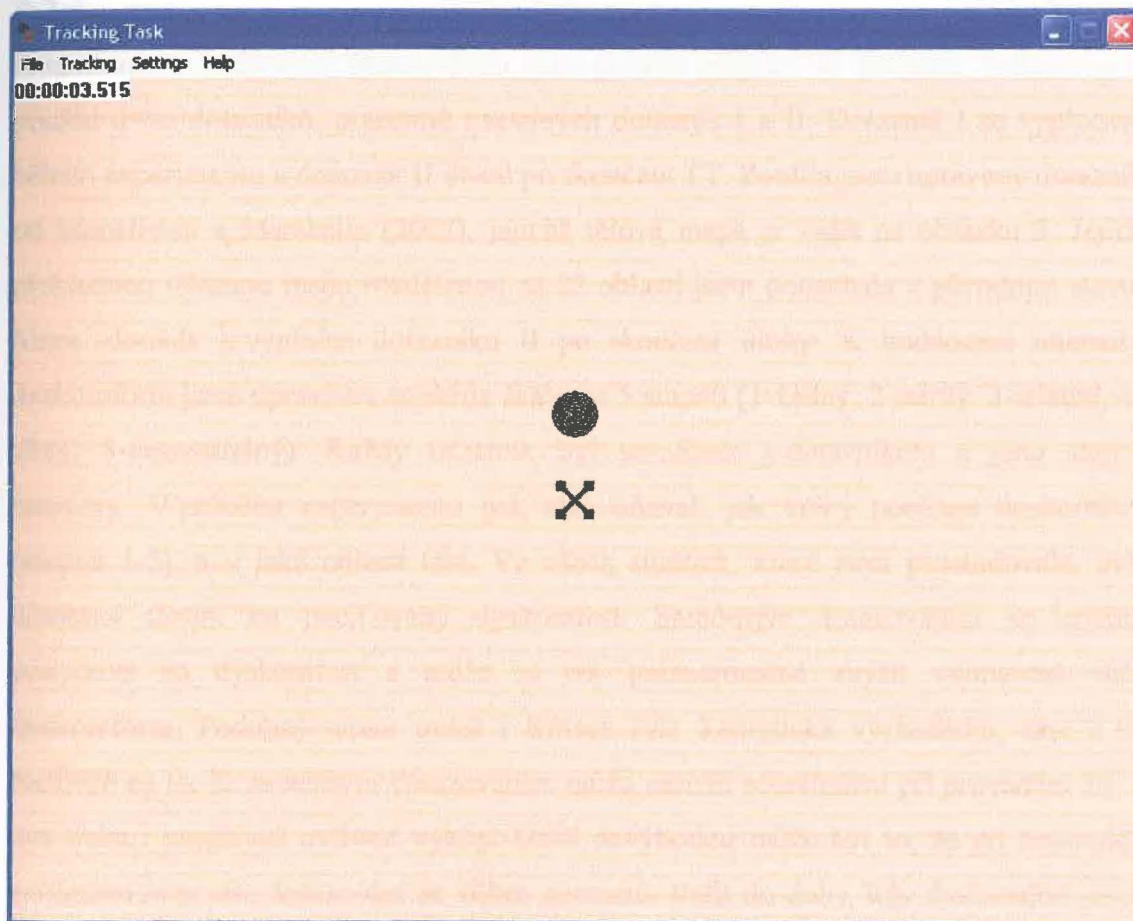
$$y = a_1 \sin(2\pi \cdot f_1 \cdot t) + a_2 \sin(2\pi \cdot f_2 \cdot t) + a_3 \sin(2\pi \cdot f_3 \cdot t)$$

Souřadnice cíle na ose x byla konstantní během celého experimentu. Jednotky následujících veličin jsou: y [px], a [1], t [s].

Použila jsem adaptivní typ TT, kde se osoba snaží přesně „kopírovat“ pohyb cíle. Kurzor ve tvaru kříže, který sledoval cílový terč se ovládal pomocí joysticku (Obrázek 3). Odlišné ikony pro cíl a kurzor byly zvoleny záměrně, aby vzájemně nesplývaly, a tím negativně neovlivňovaly výkon. Joystick se mohl pohybovat všemi směry a byl před každým měřením nakalibrován. Cíl ve formě terče se pohyboval jen ve směru osy y (Obrázek 4). Kurzor i cíl byly při startu umístěné na sobě, vždy ve středu obrazovky. Úlohu si každý účastník odstartoval tlačítkem na joysticku a tím se spustil časovač, který byl nastavený na určitou dobu (30 minut, 60 minut nebo 120 minut).

Úloha se dala kdykoli přerušit stisknutím stopovacího tlačítka, které se využívalo jen při trénování úlohy. Natrénování trvalo u každé osoby přibližně 3-5 minut. Žádný z účastníků neměl předchozí zkušenost s ovládáním joysticku. Joystick byl nastavitelný jak výškově, tak i stranově na pravou či levou ruku.

Výkon se hodnotil na základě dat sbíraných programem průběžně během celého experimentu se vzorkovací frekvencí 25Hz. Pohyb kurzoru a cíle se zaznamenával v osách x a y . Do textového souboru se ukládaly hodnoty pozice cíle a kurzoru v pixelech a čas měření v milisekundách. Detailní popis vyhodnocování experimentu je v následující kapitole.



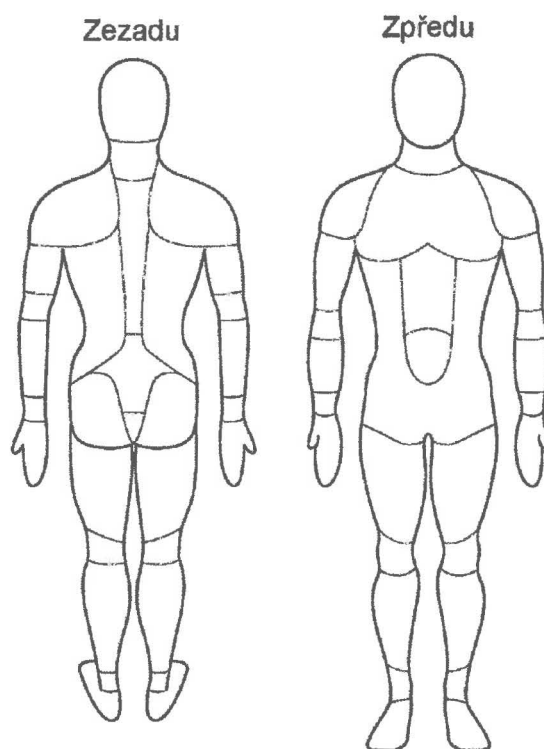
Obrázek 4: Ukázka obrazovky programu TT

Celkem bylo provedeno 17 měření na třech subjektech. Subjekty *M* i *P* podstoupily tři měření, každé trvající 30 minut. Subjekt *V* provedl osm 30-minutových, dvě hodinová a jedno dvouhodinové měření. Takto zvolené schéma měření bylo

zvoleno proto, že se předpokládalo, že 30 minut bude postačující doba ke vzniku dyskomfortu a projevení chyb při provádění TT. Protože se jedná o náhled do problematiky, tak je potřeba TT „otestovat“ jako metodu použitelnou k detekci dyskomfortu z více stran. Rozhodla jsem se proto u subjektu *V* pro více měření. Větší počet měření lépe ukáže, zda je možné se TT naučit po určitém počtu opakování. Dalším cílem bude zkoumání, zda se výkon subjektu změní v závislosti na délce provádění úlohy a stanovení určité hranice maximální délky trvání TT pro naše účely. Zajímavým poznatkem by mohlo být i srovnání dat v závislosti na denní době, či aktuálním stavu subjektu.

3.4.2 Subjektivní dotazník

K samotnému hodnocení dyskomfortu jsem použila subjektivní dotazník. Jednalo se o použití dvou dotazníků, pracovně nazvaných dotazník I a II. Dotazník I se vyplňoval během experimentu a dotazník II ihned po skončení TT. Zvolila jsem upravený dotazník od Mansfielda a Marshalla (2002), jejichž tělová mapa je vidět na obrázku 5. Jejich přehlednou tělesnou mapu rozdělenou na 22 oblastí jsem ponechala v původním stavu. Mapa sloužila k vyplnění dotazníku II po skončení úlohy. K hodnocení intenzity dyskomfortu jsem upravila a rozšířila škálu na 5 stupňů (1-žádný, 2-mírný, 3-střední, 4-silný, 5-nesnesitelný). Každý účastník byl seznámen s dotazníkem a jeho stupni intenzity. V průběhu experimentu pak sám udával, jak velký pociťuje dyskomfort (stupeň 1-5), a v jaké oblasti těla. Ve všech studiích, které jsem prostudovala, byli účastníci tázáni na pociťovaný dyskomfort. Samotným dotazováním se upoutá pozornost na dyskomfort a může se tak potencionálně zvýšit vnímavost vůči dyskomfortu. Podobný názor uvádí i Kölsch (viz Teoretická východiska, část 2.1). Nehledě na to, že samotným dotazováním můžu narušit soustředění při provádění TT a tím třeba i negativně ovlivnit výkon. Další nevýhodou může být to, že při nevhodně zvoleném intervalu dotazování se vůbec nemusím trefit do doby, kdy dyskomfort daná osoba právě pociťuje. Lze se shodnout s názorem Brantona (viz Teoretická východiska, část 2.1), že informace o dyskomfortu by se měla zaznamenat právě ve chvíli, kdy dotyčný dyskomfort prožívá.



Obrázek 5: Tělová mapa (převzato od Mansfielda a Marshalla)

Údaje o dyskomfortu (lokalizaci a intenzitu) zapisovala druhá osoba do předem připravené tabulky (dotazník I) i s odpovídajícími časovými hodnotami v minutách. Na konci experimentu účastník zhodnotil svůj celkový dyskomfort (dotazník II) a zakreslil do tělové mapy oblasti, v kterých pociťoval dyskomfort a číselnou hodnotu jeho intenzity. Použitím obou dotazníků (I a II) a porovnáním obou výsledků, by se dalo ukázat určité zkreslení ve výpovědi jedince při dotazování po vykonání úlohy. Porovnání obou dotazníků není hlavním cílem práce, ale může ukázat určitou nepřesnost v hodnocení dyskomfortu pomocí dotazníku, který je vyplněný až po ukončení experimentu. Za směrodatné informace vztahující se k TT jsem použila údaje z dotazníku I.

3.5 Interpretace dat

Tato práce slouží jako náhled na problém detekce dyskomfortu pomocí řešení úlohy TT. Experiment probíhal jen na malém počtu účastníků (3), protože nebylo cílem provést

statistické hodnocení platné pro širokou populaci. Jedná se o pilotní studii, jejímž cílem je zjistit použitelnost metody TT v hodnocení dyskomfortu. Ta pak může sloužit pro další studie, které se budou zabývat touto problematikou podrobněji.

Samotné hodnocení výkonu TT se uskutečnilo pomocí statistické analýzy (výpočet střední chyby) a pomocí Fourierovy analýzy, kde byly zjištěny frekvenční charakteristiky pohybu cíle a kurzoru. Fourierova analýza je matematická metoda, která umožňuje vyjádřit libovolnou křivku jako superpozici velkého počtu harmonických křivek

Výsledkem Fourierovy transformace byl periodogram, který zobrazuje frekvenční spektrum pohybu cíle a kurzoru. Vizuálně se porovnávalo zastoupení frekvencí kurzoru vzhledem k frekvencím cíle: $f_1 = 0,5\text{Hz}$, $f_2 = 0,25\text{Hz}$, $f_3 = 0,1\text{Hz}$. Pro velké množství dat v souboru jsem použila hodnocení v minutových intervalech (na začátku, uprostřed a na konci měření). Výsledky jsou znázorněny na grafech v následující kapitole. Vzhledem k velkému množství dat, jsem provedla toto hodnocení pouze u subjektu V. Důvodem výběru právě tohoto subjektu je nejvyšší počet provedených měření.

K vyhodnocení výkonu, respektive chyby jsem dále použila následující statistické veličiny: kumulovaná směrodatná odchylka okamžité chyby a kumulovaný aritmetický průměr okamžité chyby, klouzavá směrodatná odchylka okamžité chyby a klouzavý aritmetický průměr okamžité chyby. Detailní popis způsobu získání těchto veličin je v části 3.7.1.

Pro jednodušší zpracování obsáhlého souboru dat jsem použila program, který sloučil data v daném intervalu do několika reprezentativních statistických hodnot (viz dále). U všech naměřených souborů nehledě na dobu trvání úlohy, jsem použila sloučení dat po intervalech 60 sekund. Stručný popis programu, jeho funkcí a obrazová ukázka (Obrázek 6) jsou uvedeny níže.

3.5.1 Zpracování naměřených dat programem Slučovač

Výsledkem každého provedeného experimentu je velké množství naměřených pozic kurzoru a cíle. Tato data se zaznamenávají přibližně s frekvencí 25Hz a celé měření tak

vyprodukuje mezi 38000 a 180000 záznamy. Takové množství dat lze jen velice obtížně zpracovávat pomocí tabulkových procesorů, jako např. Excel, protože tyto programy buď vyžadují příliš velké výpočetní prostředky nebo přímo odmítnou s tak velkými soubory dat pracovat. Z tohoto důvodu jsem se rozhodla výsledky předzpracovat pomocí programu *Slučovač*, speciálně vytvořenému k tomuto účelu.

Vstupem programu *Slučovač* je textový soubor vytvořený během TT úlohy. Tento soubor *Slučovač* statisticky zpracuje podle zadaných parametrů a výsledky zapíše do souboru typu CSV (comma separated values), který lze otevřít v běžných tabulkových procesorech. Odchylkou vůči standardnímu formátu CSV je použití středníku jako oddělovače sloupců, ale česká notace desetinných čísel to vyžaduje. Program *Slučovač* poskytuje pro své ovládání grafické rozhraní kompatibilní se systémem Windows. Nastavitelné parametry jsou:

- *Interval* – program sloučí všechna měření v zadaném intervalu do jednoho výsledku (metody slučování jsou popsány dále). Parametr se zadává jako jediná časová hodnota v sekundách. Výstup programu obsahuje pak měření vzdálená od sebe právě o tuto hodnotu. Povolený rozsah hodnot je 1-60 sekund.
- *Čas v minutách* – pokud je tato volba povolena, bude výstup obsahovat čas převedený na minuty a sekundy.
- *Čas v hodinách* – pokud je tato volba povolena, bude výstup obsahovat čas převedený na hodiny, minuty a sekundy.

Výstupem programu je jeden řádek pro každý započatý časový interval (viz parametr *interval*) z původních dat. Všechny vypočtené hodnoty ve výstupu se vztahují k chybě sledování, která je definována jako okamžitá vzdálenost cíle a kurzoru v daném čase. Informace o pozici kurzoru a cíle na ose *x* ve výstupu nejsou. Řádek obsahuje následující sloupce:

- *Čas* – čas počátku tohoto intervalu tak jak byl uveden ve vstupním souboru, ale převeden na jednotky zvolené uživatelem.

- *Střední chyba pro interval* – aritmetický průměr chyby sledování (pouze v ose y) pro tento jeden interval.
- *Směrodatná odchylka pro interval* – směrodatná odchylka spočtená z hodnot tohoto jednoho intervalu.
- *Kumulovaná střední chyba* – aritmetický průměr chyby sledování (pouze v ose y) pro tento interval a všechny předchozí.
- *Kumulovaná směrodatná odchylka* – směrodatná odchylka spočtená z hodnot tohoto intervalu a všech předchozích.
- *Klouzavá střední chyba pro 2 intervaly* – aritmetický průměr chyby sledování (pouze v ose y) pro tento a předcházející interval.
- *Klouzavá směrodatná odchylka pro 2 intervaly* – směrodatná odchylka spočtená z hodnot tohoto a předcházejícího intervalu.
- *Klouzavá střední chyba pro 5 intervalů* – aritmetický průměr chyby sledování (pouze v ose y) pro tento a 4 předcházející intervaly
- *Klouzavá směrodatná odchylka pro 5 intervalů* – směrodatná odchylka spočtená z hodnot tohoto a 4 předcházejících intervalů.

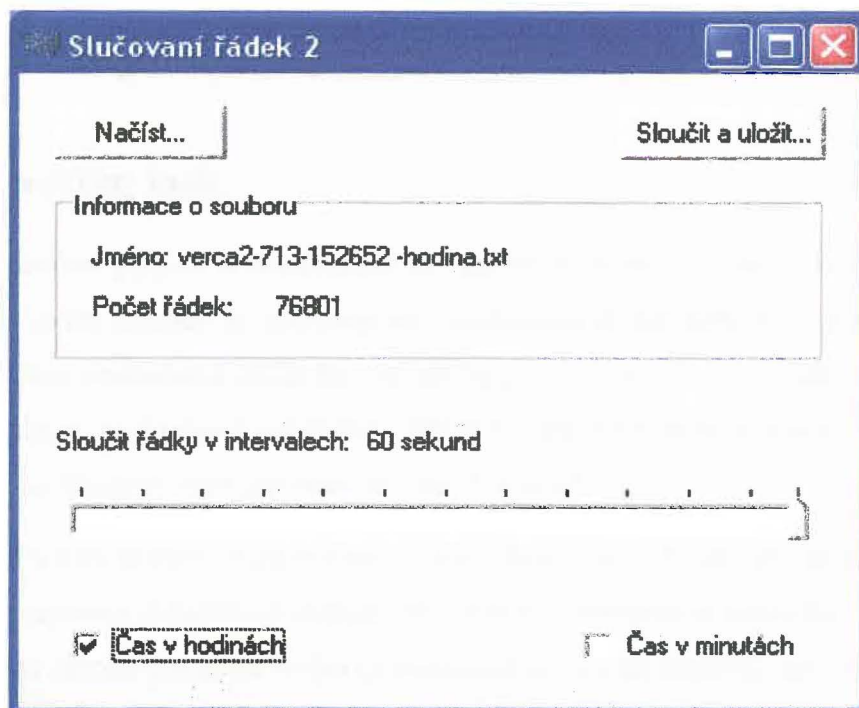
Pro výpočet aritmetického průměru \bar{x} z N hodnot, kde jednotlivé hodnoty jsou označené x_i , byl použit vzorec:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_N x_i$$

Pro výpočet odhadu směrodatné odchylky s byl použit vzorec:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left| \sum_N x_i^2 - N \cdot \bar{x}^2 \right|}$$

Program *Slučovač* vnitřně neprovádí žádná zaokrouhlování (vstupem jsou celá čísla a rovněž všechny vnitřní proměnné jsou celá čísla). Jediné zaokrouhlení se



provede při výstupu vypočtených průměrů a směrodatných odchylek a to s přesností na jedno desetinné místo.

Obrázek 6: Program Slučovač

Metoda subjektivních dotazníků je již celkem známá a dobře propracovaná a sloužila ke srovnání výsledků naměřených při TT. K hodnocení jsem použila data uvedená z dotazníku I, která byla sbírána náhodně a obsahují časový s minutovou přesností. Ke grafickému znázornění použiji data uvádějící intenzitu dyskomfortu (stupeň 1-5), které budou prezentovat vývoj dyskomfortu v čase. Tento graf bude sloužit ke srovnání s údaji na grafech, které zaznamenávají chybu při provádění TT. Tabulky s lokalizací dyskomfortu a záznam subjektivního dotazníku II jsou uvedeny v příloze.

4 Výsledky

4.1 Tracking task

TT byl hodnocen pomocí 2 matematických metod: Fourierovou analýzou a statistikou. Výsledkem první metody je periodogram, výsledkem druhé metody je buď klouzavá střední chyba a směrodatná odchylka pro pět intervalů (viz část 3.5.1) nebo kumulativní střední chyba a směrodatná odchylka. Všechny statistiky byly spočteny programem *Slučovač* s nastavením velikosti intervalu na 60 sekund.

Hodnocení pomocí kumulované střední chyby bylo vhodné pro delší měření (1-hodinové a zejména 2-hodinové měření, viz Graf 8). Směrodatná odchylka byla u všech provedených měření poměrně velká (srovnatelná se střední chybou), což poukazuje na poměrně malou vypovídací hodnotu střední chyby. Tabulka uvádějící souhrnný přehled dat ze statistické analýzy u všech měření je uvedena v Příloze A (Tabulka 3). Směrodatná odchylka však v žádném měření není natolik velká, aby učinila střední chybu nepoužitelnou pro účely hodnocení výkonu TT (Graf 27, Příloha B).

Srovnáním klouzavé chyby ve všech 30-min. měřeních jednotlivých subjektů zjišťujeme, že u prvního měření každého subjektu byla patrná vyšší hodnota chyby než u následujících měření, a že poslední měření většiny subjektů vykazovalo nejnižší chybu (platí pro subjekty *P* a *V*, subjekt *M* dosáhl podobné výsledky u 2. i 3. měření). Z toho lze usuzovat, že se tato úloha dá do určité míry naučit. U některých subjektů je dosažena nejvyšší chyba hned na počátku, z důvodu možného reakčního zpoždění a „navyknutí“ si na pohyb cíle (subjekt *P* a většina měření subjektu *V*). Po počátečním „navyknutí“ na pohyb lze sledovat po určitou dobu stabilizaci výkonu, která trvá různou dobu. Tato stabilizace je narušena téměř u všech měření přibližně mezi 15. a 20. minutou, kdy narůstá chyba. Může pak dojít k přechodnému srovnání výkonu a snížení chyby, které však v závěru dosáhne úrovně chyby v 15.-20. minutě či dokonce vyšší. Tento trend lze pozorovat téměř ve všech měřeních.

U hodinového měření subjektu *V* lze sledovat nižší hodnotu chyby u druhého než u prvního měření (Graf 5). První hodinové měření probíhalo jako v pořadí 2. měření

subjektu, kdežto druhé hodinové měření až jako v pořadí 9. měření subjektu. Lze vidět, že po tolika provedených měření se subjekt úlohu naučil. U obou měření se objevilo sledování s minimální chybou kolem 15. minuty a s maximální chybou (kromě 1. minuty) kolem 54 minuty. Graf zobrazující kumulovaný průměr ukazuje trend rostoucí chyby v čase (Graf 6).

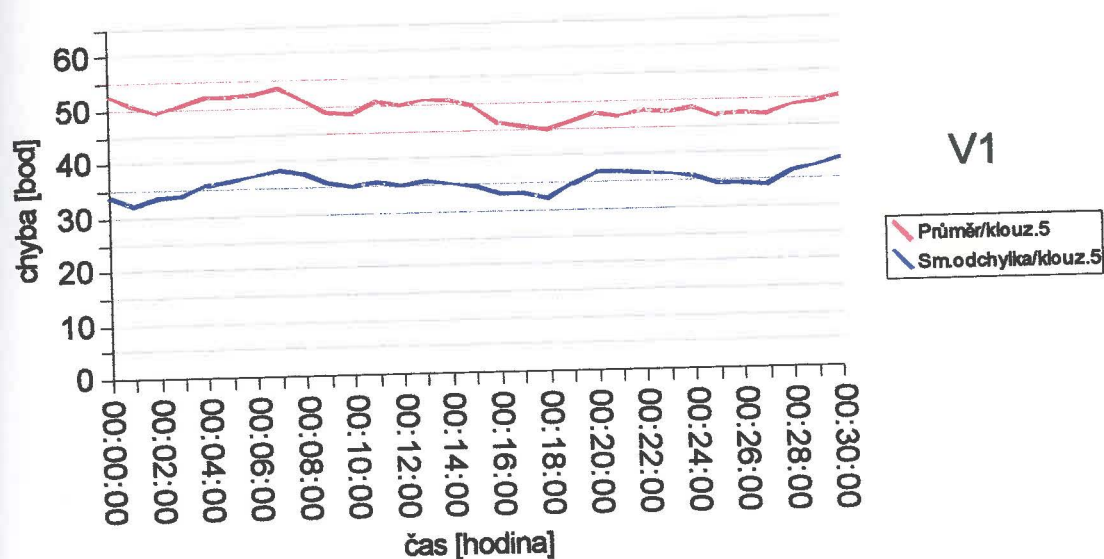
U 2-hodinového měření lze sledovat postupný nárůst chyby v čase, s občasným krátkodobým snížením chyby, které však nikdy nedosáhne předchozí hodnotu minimální chyby. Největší výchyly ve velikosti chyby lze vidět v období přibližně mezi 1:48-2:00 (Graf 7). Kumulovaný průměr ukazuje postupné narůstání chyby v čase (Graf 8).

Subjekty *M* a *P* vykazovaly obecně menší maximální chybu (do 40 pixelů) než subjekt *V* (do 65 pixelů). Grafy subjektu *V* jsou zobrazeny níže a grafy subjektů *M* a *P* jsou uvedeny v příloze (grafy 21 a 22).

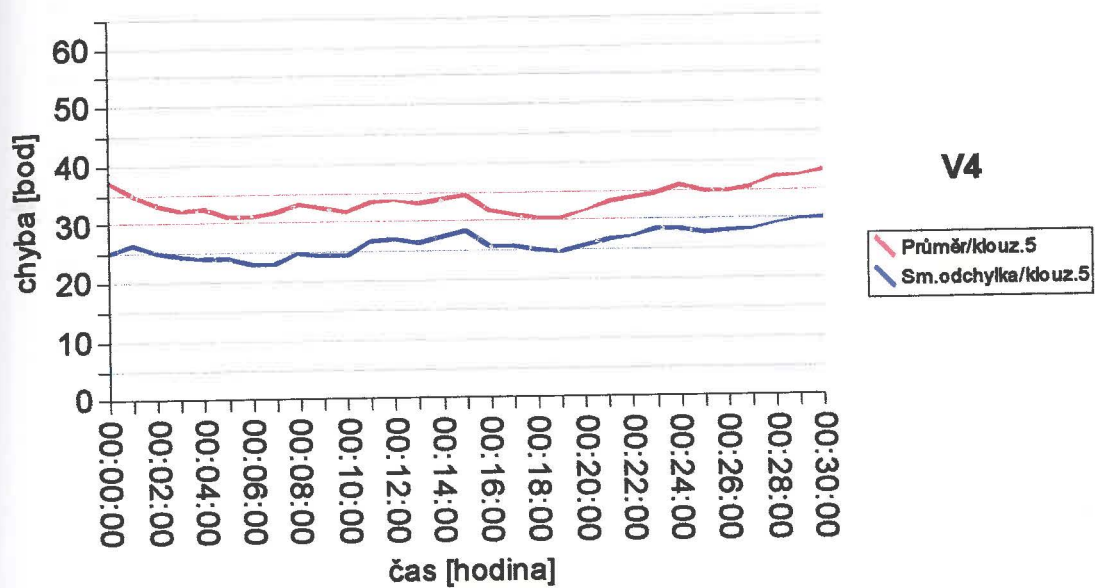
Během vizuální interpretace periodogramu z Fourierovy analýzy se ukázalo, že při použitých frekvencích cíle, není patrný významný rozdíl frekvenčního zastoupení cíle a kurzoru. Na grafu (Graf 9) je vidět, že v zastoupení frekvencí kurzoru (Cursor Power) dominují různou měrou 3 frekvence ($f_1 = 0,5\text{Hz}$, $f_2 = 0,25\text{Hz}$, $f_3 = 0,1\text{Hz}$). Jsou to frekvence, na kterých se periodicky pohyboval cíl. Na grafu jsou rovněž znázorněny míry zastoupení ostatních frekvencí dosažených kurzorem, které ukazují, že se člověk v průběhu experimentu netrefil přesně do jedné ze tří dominantních frekvencí cíle. Jsou ale zastoupeny téměř vždy menší měrou než frekvence cíle a na základě toho lze usuzovat, že u subjektu převládala určitá frekvenční shoda s pohybem cíle. Předpokládalo se, že 2-hodinové měření bude pro subjekt dostatečně náročné a projeví se při něm rozdíly v periodogramu. Tento předpoklad se ale u subjektu *V* nepotvrdil (viz grafy 9,10,11,12). Každý graf zobrazuje jednu minutu z daného intervalu.

Při analýze 2-hodinového měření je patrný nepoměr frekvenčního zastoupení mezi cílem a kurzorem u f_1 (0,5 Hz), kdy cursor power mnohonásobně překračuje target power v intervalu (31-34 minut, Graf 10). V následujícím intervalu (60-65 minut, Graf 11) lze sledovat podobný trend nárůstu u frekvence f_1 a v posledním intervalu v čase 115 minut maximální hodnoty cursor power, která následující minuty klesá ke své

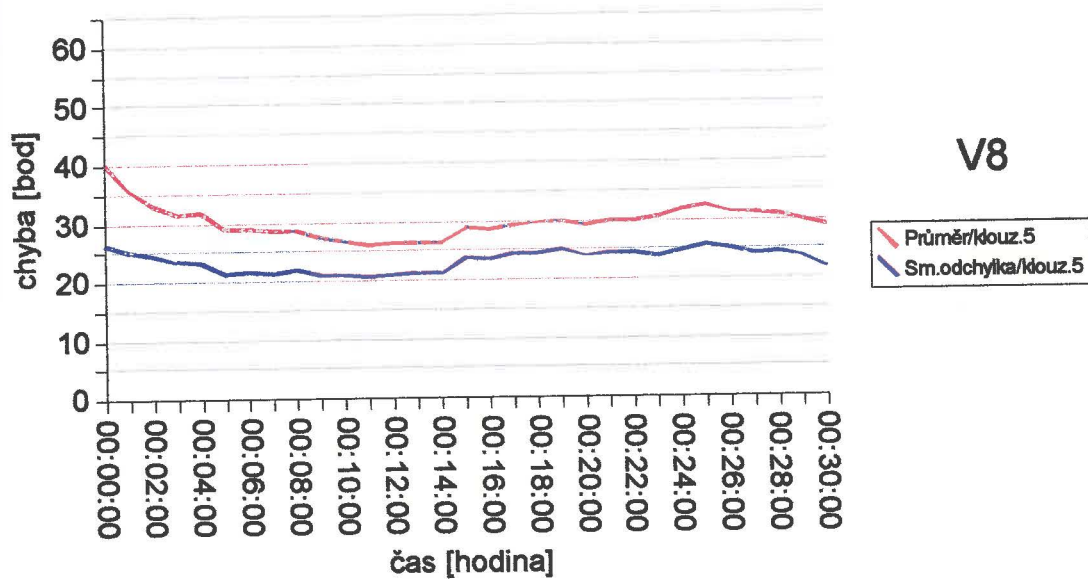
počáteční hodnotě na začátku měření (Graf 12). Hodnocení 2-hodinového měření probíhalo ve 4 intervalech po 5 minutách (1-5, 30-35, 60-65, 115-120 minut). Srovnáním údajů s grafem střední chyby nelze vyvozovat žádnou závislost vývoje chyby a vývoje frekvenčního zastoupení signálu. Na základě takto provedeného měření nelze zobecnit a určit vývoj frekvenčního spektra v čase u žádného z provedených měření.



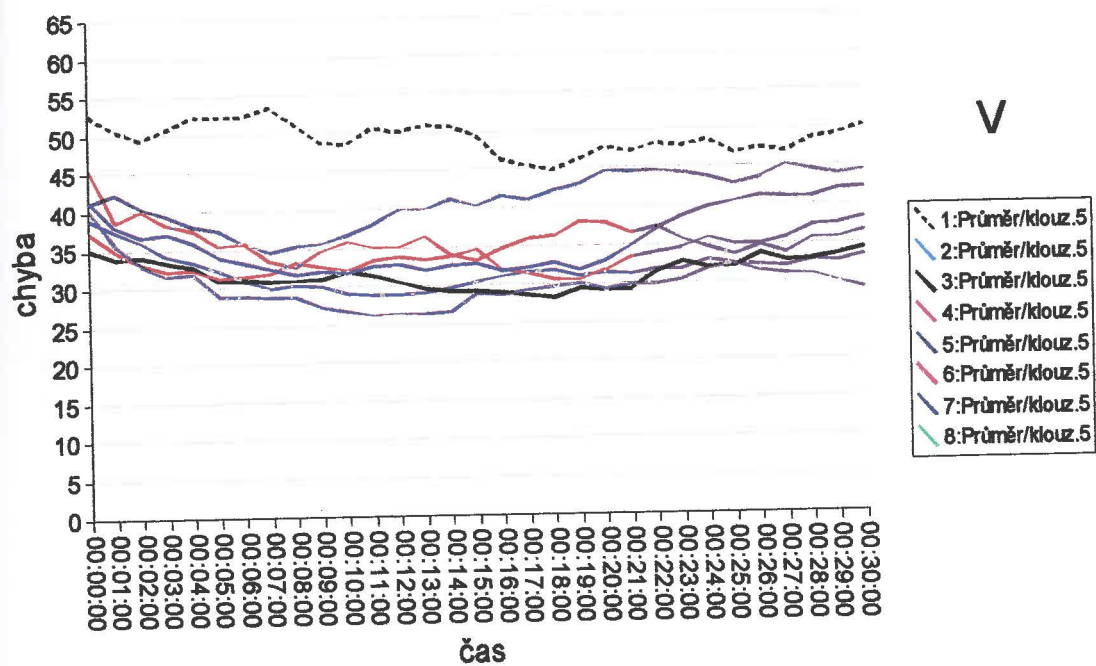
Graf 1: Klouzavá střední chyba a směrodatná odchylka, subjekt V, 1. měření



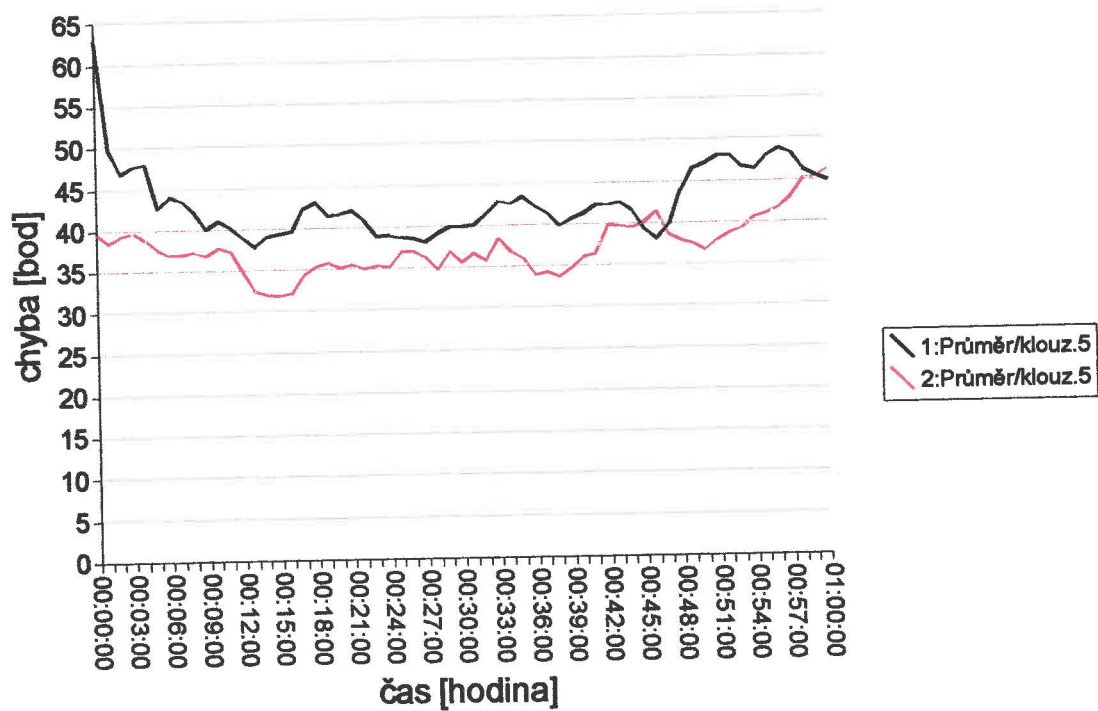
Graf 2: Klouzavá střední chyba a směrodatná odchylka, subjekt V, 4. měření



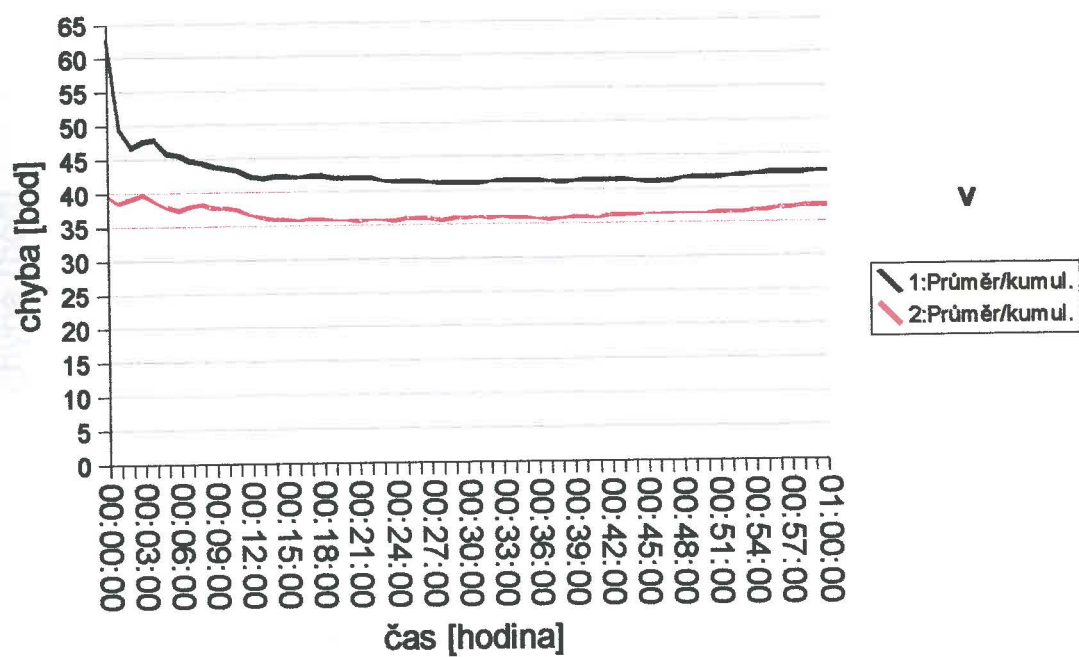
Graf 3: Klouzavá střední chyba a směrodatná odchylka, subjekt V, 8. měření



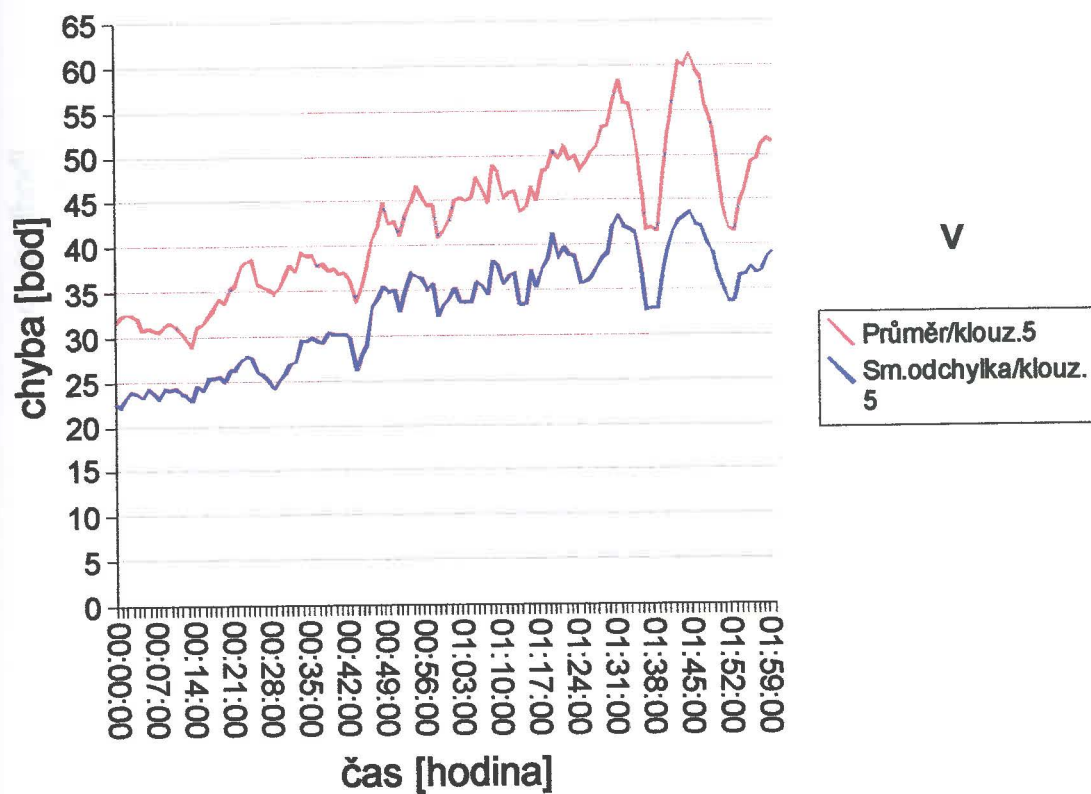
Graf 4: Klouzavá střední chyba, subjekt V, všechna 30-minutová měření



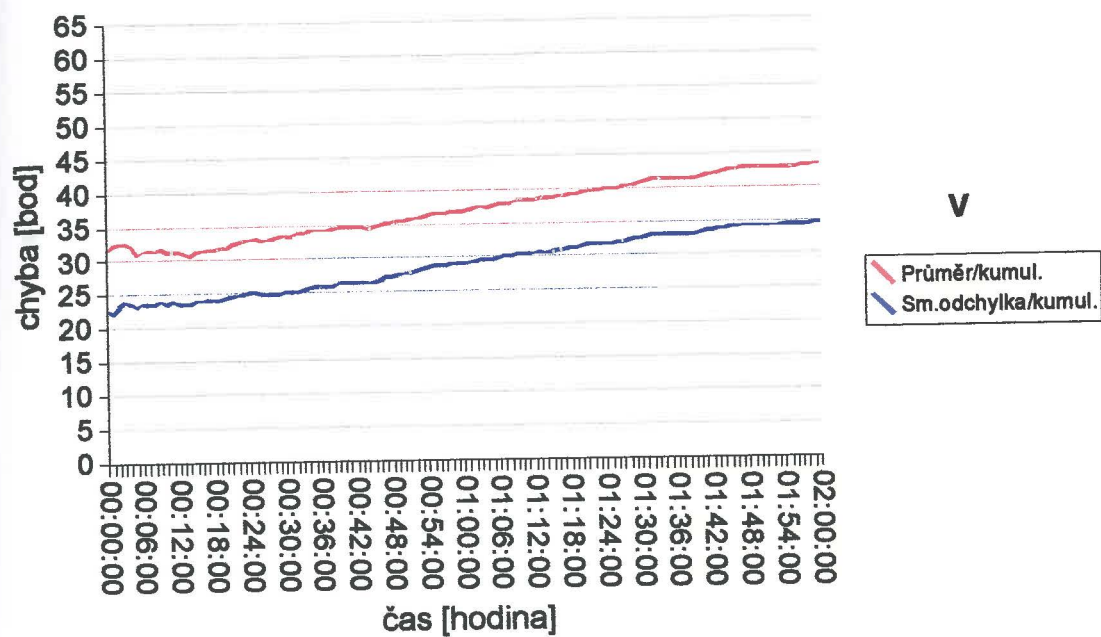
Graf 5: Klouzavá střední chyba, subjekt V, dvě 60-minutová měření



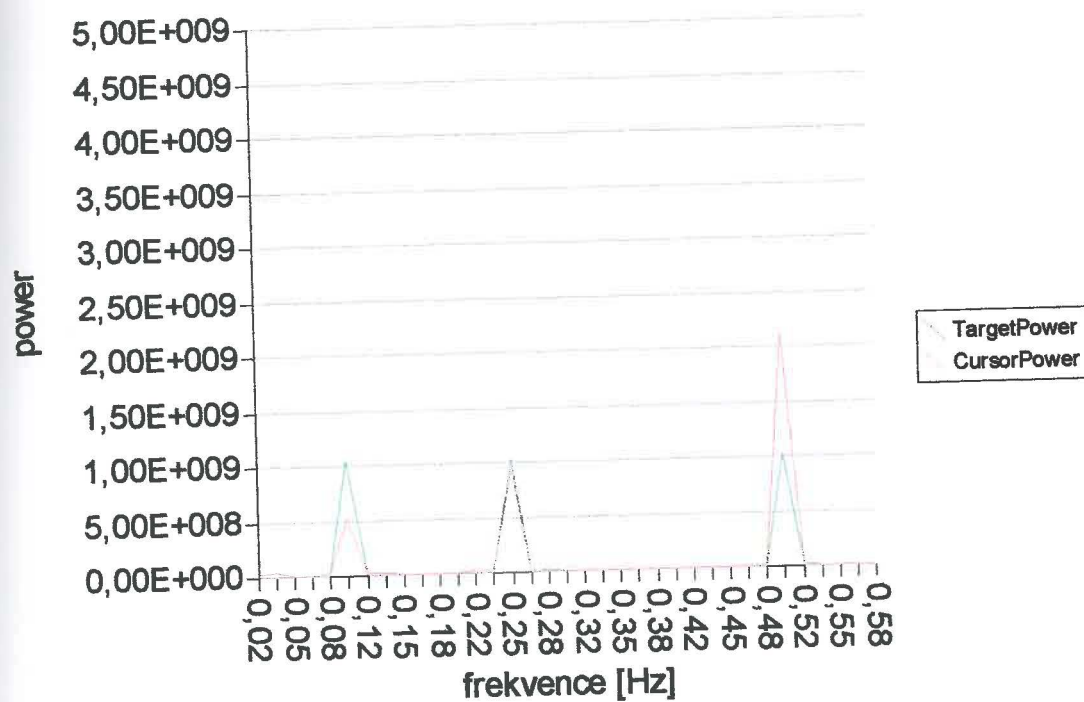
Graf 6: Kumulovaná střední chyba, subjekt V, dvě 60-minutová měření



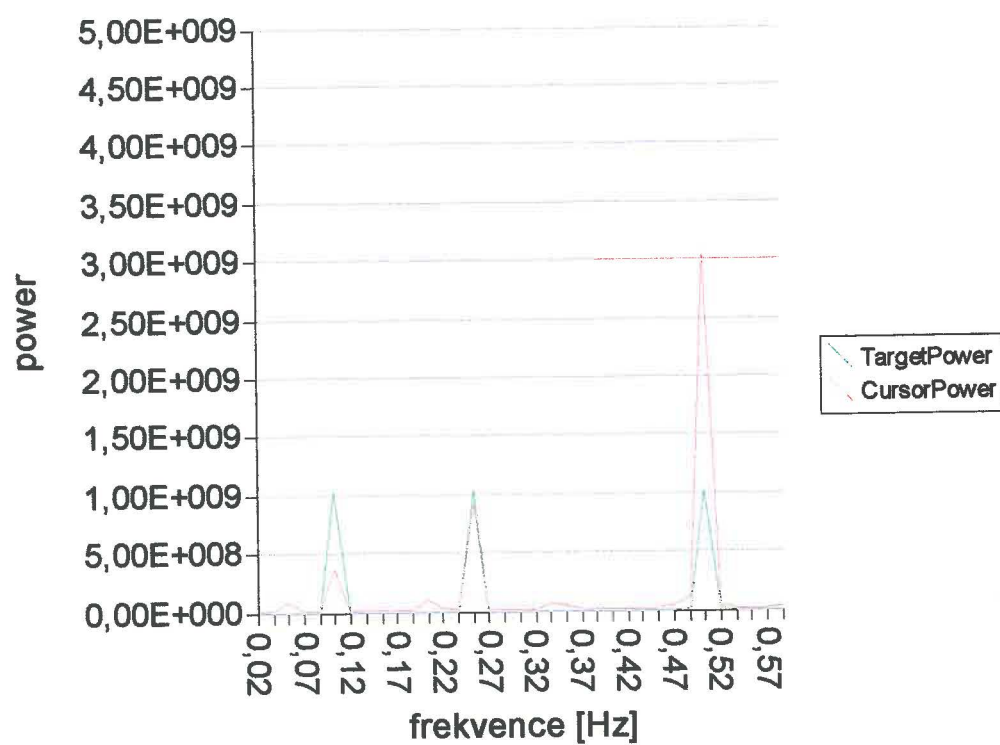
Graf 7: Klouzavá střední chyba a směrodatná odchylka subjekt V, 2-hod.měření



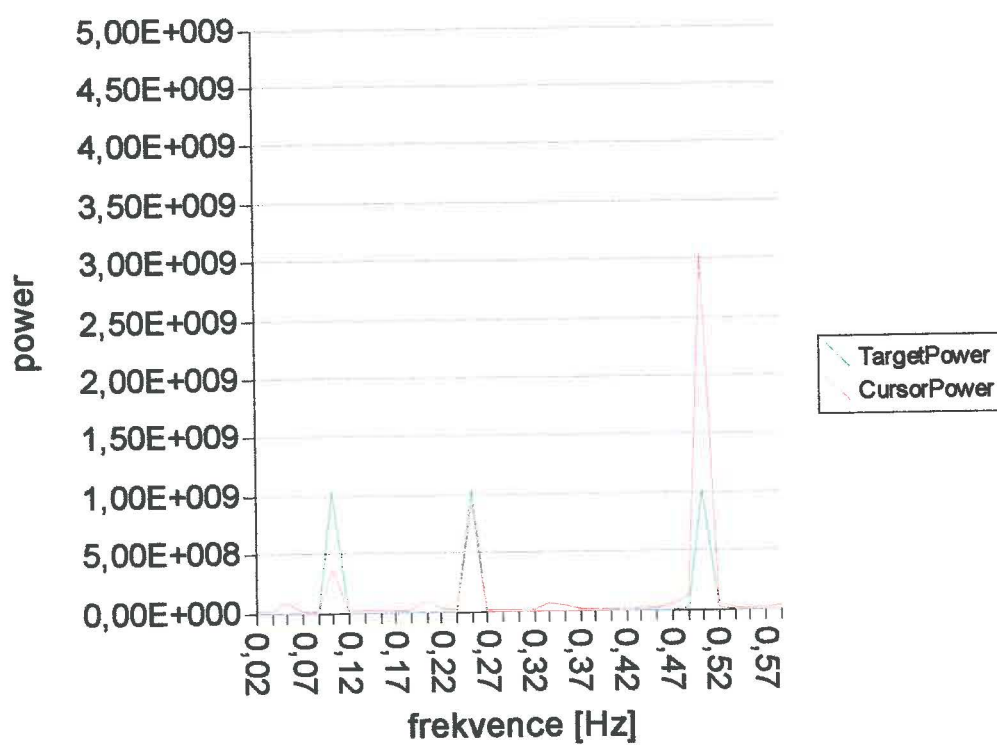
Graf 8: Kumulovaná střední chyba a směrodatná odchylka subjekt V, 2-hod.měření



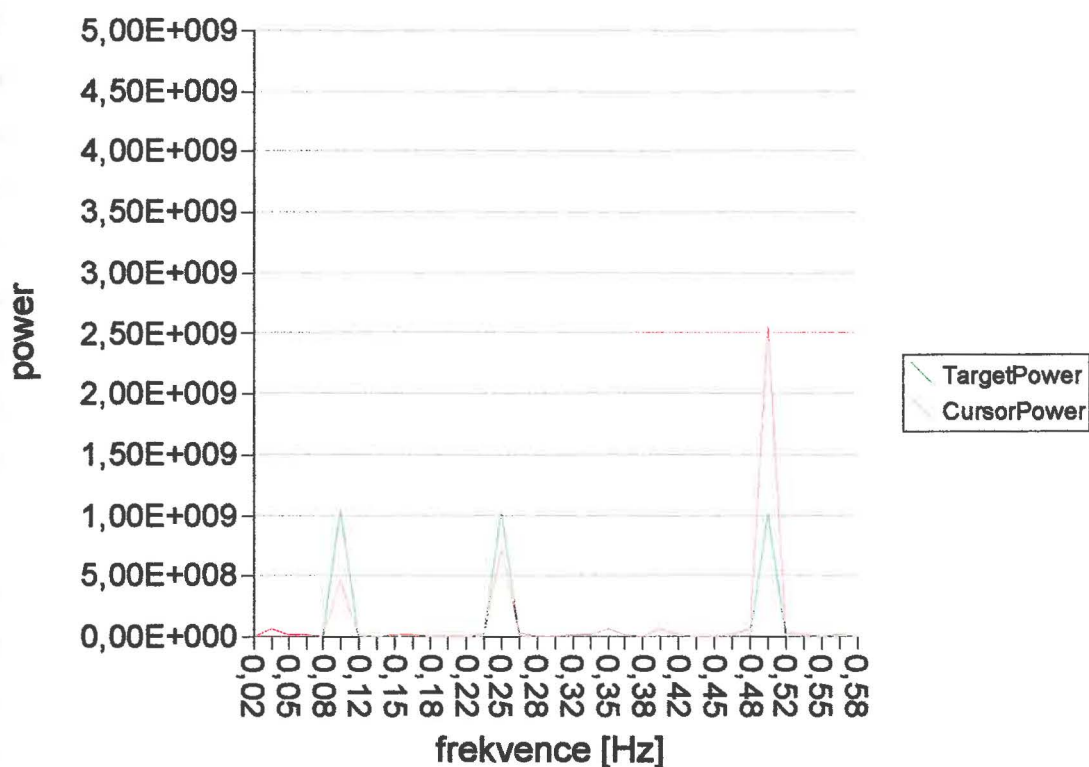
Graf 9: Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce (vstup = cíl, výstup = kurzor),
2. minuta 2-hodinového měření subjektu V



Graf 10: Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce, 34.minuta 2-hodinového měření
subjektu V



Graf 11: Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce, 60.minuta 2-hodinového měření
subjektu V



Graf 12: Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce, 117.minuta 2-hodinového měření subjektu V

4.2 Subjektivní dotazník I a II

Data získaná ze subjektivního dotazníku I jsou přehledně uvedena v tabulkách a údaje z dotazníku II jsou zobrazeny na mapách těla. Grafy ukazují vývoj dyskomfortu v čase jen na základě jeho intenzity a ne lokalizace. Lokalizace je uvedena v tabulkách a mapách těla (Příloha A). Srovnáním údajů z dotazníku I a II, docházíme k závěru, že dotazník II, který zobrazuje nasbíraná data až po provedení úlohy, se odlišuje od údajů z dotazníku I. Dotazník II nezachycuje vývoj dyskomfortu v čase, zobrazuje hlavně oblasti s nejvyšší intenzitou nebo nejdelším trváním dyskomfortu. Krátkodobě pociťovaný dyskomfort o nižší intenzitě se nemusí vůbec zobrazit, protože subjekt na něj může během provádění TT zapomenout.

Na grafech, které zobrazují vývoj dyskomfortu v čase (Grafy 13-20) můžeme sledovat u každého jedince v čase 0-1 minut „žádný dyskomfort“ (stupeň 1), protože informace o dyskomfortu se zaznamenávala s minutovou přesností a případný počáteční

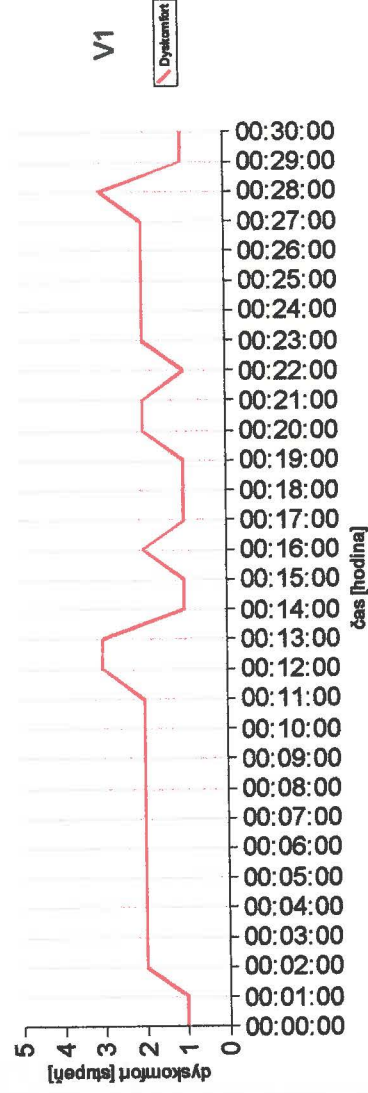
dyskomfort se zaznamenal až po první minutě. Žádný sledovaný subjekt nedosáhl nejvyšší stupeň intenzity dyskomfortu (stupeň 5) a nejčastěji byly zastoupené stupně mírný (stupeň 2) a střední (stupeň 3). Subjekt *P* dosáhl maximální hodnoty 3. Všechny subjekty ovládaly joystick pravou rukou, což se projevilo na pociťovaném dyskomfortu v této oblasti. Dyskomfort pravé ruky byl přítomný u každého měření všech subjektů. U subjektů *M* a *V* se objevoval dyskomfort očí (pálení, únava, zavírání), kdežto subjekt *P* ho během měření vůbec nezaznamenal. U subjektu *M* lze sledovat postupný nárůst dyskomfortu v čase (Graf 19). U subjektů *P* (Graf 20) a *V* (Grafy 13-18) není křivka již tak plynulá a objevuje se spíše lokální nárůst dyskomfortu.

Porovnáním grafů zobrazujících klouzavou střední chybu (viz Graf 4) s grafy zobrazujícími dyskomfort (Grafy 13-15) nelze jednoznačně říci, že se dyskomfort vždy projeví v chybě subjektu. Například u subjektu *M* docházelo k plynulému nárůstu dyskomfortu, ale plynulý nárůst chyby se v grafu neprojevil. U subjektů *P* a *V* v průběhu experimentu intenzita dyskomfortu spíše kolísala a chybovost také. Například u hodinového měření (střední chyba je v Grafu 5 a dyskomfort v Grafu 16) je patrný nárůst dyskomfortu kolem 54. minuty na stupeň 4 i znatelný nárůst chyby. Naopak u 2-hodinového měření (Grafy 7 a 18) dochází v závěru k významnému zvýšení chyby, ale dyskomfort se drží na středním stupni po celých posledních 30 minut experimentu.

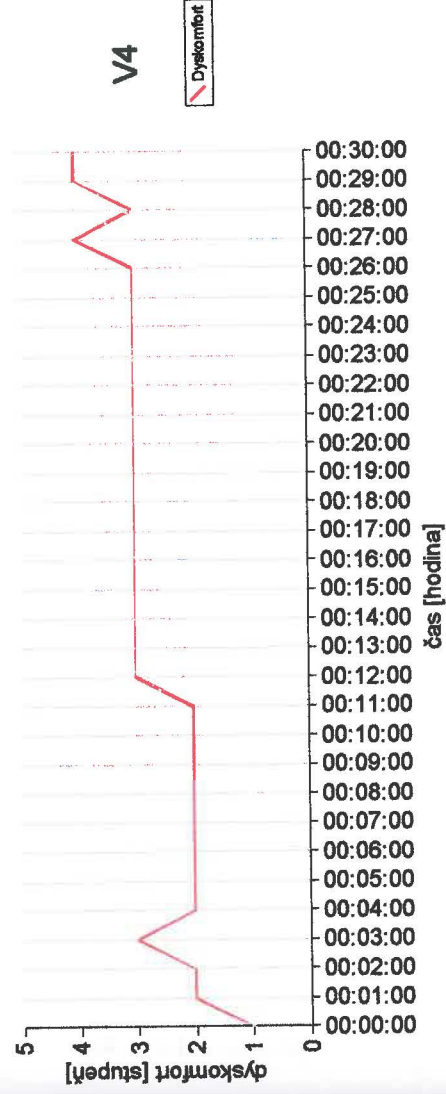
Na základě vizuálního zhodnocení grafů vývoje dyskomfortu (Grafy 13-20) je ale patrné, že celkový trend dyskomfortu u většiny provedených měření je rostoucí. To poukazuje na skutečnost, že jistá souvislost mezi měřením chyby při TT a zjištěným dyskomfortem existuje.

Údaje týkající se aktuálního fyzického a psychického stavu před testováním neprokázaly významné ovlivnění výkonu TT. Hodinové měření subjektu *V* probíhalo v období, kdy se subjekt cítil unavený, po provedení TT se únava ještě zvýšila, ale tyto projevy se výrazně neprojevily na výkonu subjektu. Po celou dobu 4. měření pociťoval subjekt *V* bolest hlavy a srovnáním výkonu s ostatními měřeními zjišťujeme, že výkon byl srovnatelný s ostatními výsledky (Graf 4). Nebyly zaznamenány ani rozdíly ve výkonu mezi tím, zda měření probíhalo ráno či večer.

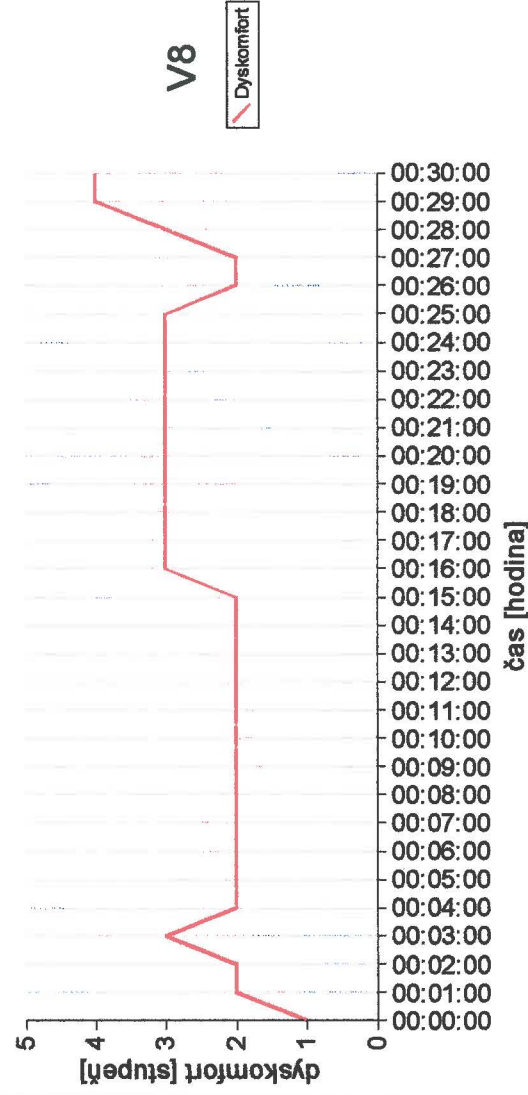
4.3 Přehled grafů vývoje dyskomfortu



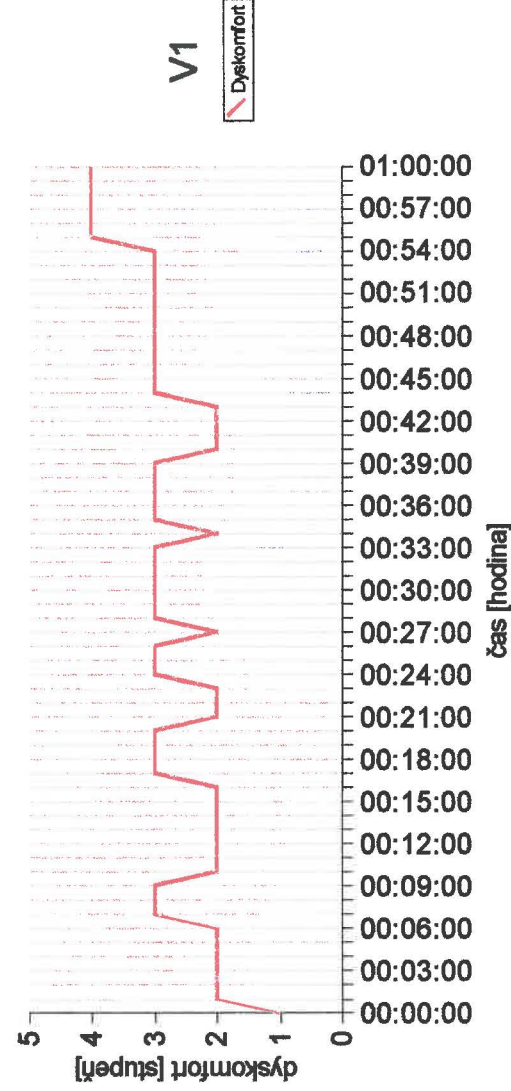
Graf 13: Vývoj dyskomfortu u subjektu V, 1. měření



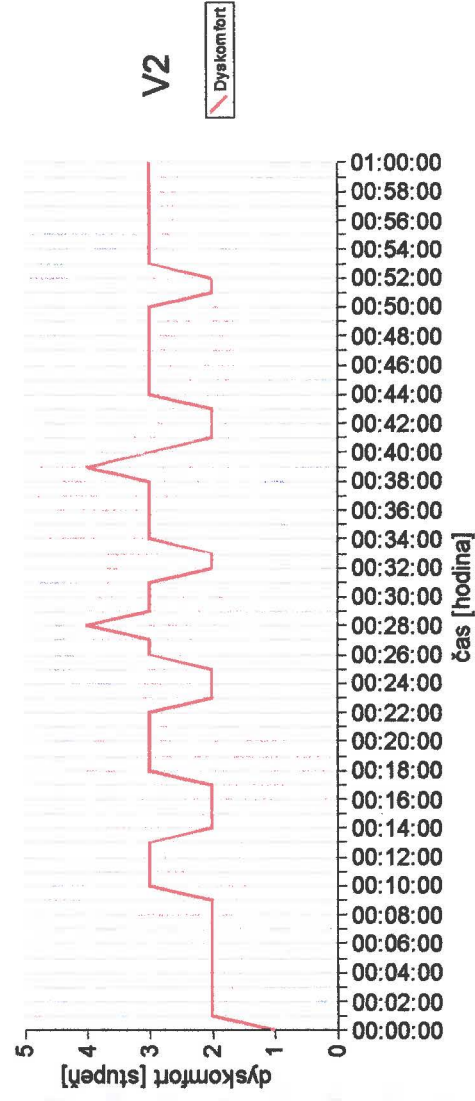
Graf 14: Vývoj dyskomfortu u subjektu V, 4. měření



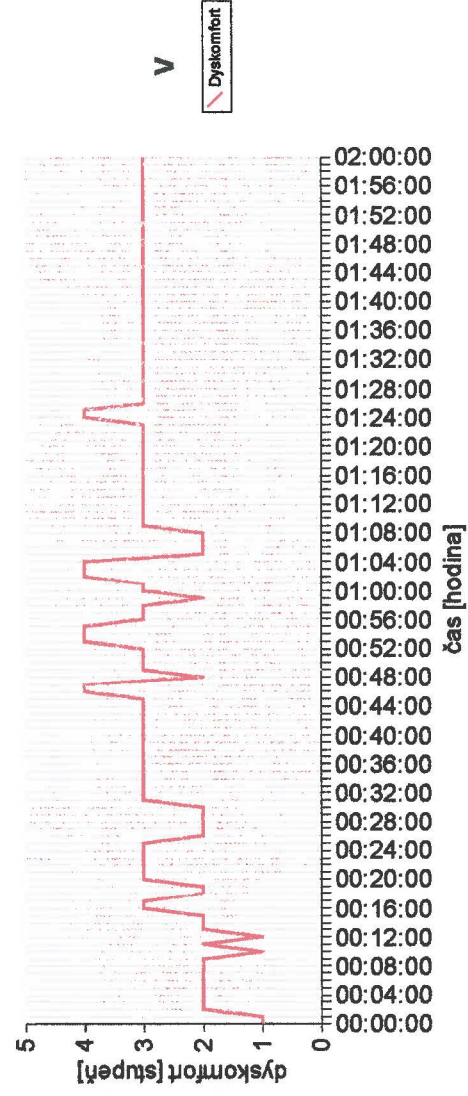
Graf 15: Vývoj dyskomfortu u subjektu V, 8. měření



Graf 16: Vývoj dyskomfortu u subjektu V, 60min.měření



Graf 17: Vývoj dyskomfortu u subjektu V, 60min. měření



Graf 18: Vývoj dyskomfortu u subjektu V, 2-hod. měření

5 Diskuze

Tato pilotní studie slouží jako náhled do problematiky detekce dyskomfortu pomocí metody TT. Hypotézy, které směřují celou práci k určitému cíli, byly podle toho také koncipovány. První hypotéza uvádí, že se chyba při provádění TT bude zvyšovat v čase a s obtížností úkolu. Experimenty ukázaly, že střední chyba během provádění TT opravdu rostla v čase, to se markantně projevilo zejména u déletrvajících měření (60 minut a 120 minut). Jako nejvhodnější statistické hodnocení se ukázala klouzavá střední hodnota počítaná přes 5 intervalů o velikosti 1 minuta. Křivka závislosti této statistické veličiny na čase dobře vystihuje výkon subjektu během celého experimentu, a přitom skrývá lokální výkyvy ve velikosti chyby (křivka je relativně hladká). Takto zvolený interval umožňuje snadné srovnání naměřených dat s údaji získanými dotazníkem dyskomfortu.

Druhou metodou hodnocení výkonu TT bylo vizuální ohodnocení podobnosti frekvenčních spekter vypočítaných pomocí Fourierovy analýzy, která zobrazuje frekvenční charakteristiky vstupní a výstupní funkce. Předpoklad, že při déletrvajícím měření se bude frekvenční spektrum cíle a kurzoru vizuálně stále více lišit se neprokázala. Důvodem mohlo být nastavení poměrně nízké frekvence pohybu cíle (maximálně 0,5 Hz). Takto nízkou frekvenci není příliš náročné sledovat a chyba sledování bude tedy malá i při dlouhotrvající úloze. Studie uvádějí, že člověk zvládne sledovat sinusový pohyb do 2 Hz. Už se ale dále nezmiňují, jak dlouho to člověk vydrží. Dvouhodinové měření se v tomto případě ukázalo jako nedostatečně dlouhé, i když byla sledovací úloha výrazně obtížnější, neboť pohyb cíle nebyl jednoduchá sinusoida, ale superpozice tří různých sinusoid, a nedal se tedy lehce předvídat. Jednodušším řešením než prodlužování doby provádění TT nad 2 hodiny by mohla být modifikace obtížnosti úlohy. Zvýšení frekvence pohybu cíle či zavedení náhodné změny amplitudy by ovlivnily výkon negativním směrem, zvýšila by se pak velikost střední chyby, mohlo by dojít i ke změně složení frekvenčního spektra cíle a kurzoru. Hodnocením střední chyby a frekvenčních charakteristik je možné dosáhnout komplexního pohledu na výkon při provádění TT.

Další část mé hypotézy souvisí se zmiňovanou modifikací obtížnosti TT. Hypotéza o růstu míry chybovosti s obtížností úlohy se z časových důvodů nerealizovala. Celý experiment proběhl jen s jedním nastavením obtížnosti, neměnilo se proto ani nastavení frekvence, ani amplitudy pohybu cíle. Provedení experimentu s modifikovanou obtížností by se mohlo projevit jak na pociťovaném dyskomfortu, tak i na frekvenční charakteristice signálu.

Druhá hypotéza se týkala vlivu dyskomfortu na výkon při provádění TT. Předpokládalo se, že se dyskomfort projeví ve zvýšení střední chyby. Na základě vizuálního zhodnocení křivek časového průběhu dyskomfortu a křivek zobrazující střední chybu, je patrné, že celkový trend je u většiny měření rostoucí. To poukazuje na skutečnost, že jistá souvislost mezi měřením střední chyby a zjištěným dyskomfortem existuje, a je zřejmě možné ji pomocí pečlivě vybraných metod ohodnotit. Ale je také otázkou, na kolik je dotazníková metoda v hodnocení aktuálního stavu dyskomfortu spolehlivá. Jak už je uvedeno v teoretické části, dotazníková metoda závisí na subjektivní výpovědi jedince a také na ochotě spolupracovat. Téměř vždy takto získaná data budou do určité míry zkreslená a zatížená výpovědí jedince. V mém případě se sice nejedná o výrazné zkreslení údajů z hlediska času, protože dyskomfort udával subjekt ve chvíli, kdy ho právě pociťoval, ale přesto je potřeba počítat s omezenou vypovídací schopností této metody. Dotazníková metoda se jeví jako nepřesná a to může být důvodem, proč přesně nekorrespondují data získaná dotazníkem s daty střední chyby. Nicméně je možné tento postup dále vyzkoušet u experimentu se změnou obtížnosti úlohy TT.

Při provádění TT jde o vykonání přesného koordinovaného pohybu, který je obecně pro člověka celkem náročný a musí se ho učit. Po několika provedených měření se ukázalo, že každý subjekt je schopen se úlohu naučit na určitou úroveň, kterou pak udržuje po různě dlouhou dobu měření. Pohyb cíle byl předvídatelný, ale s poměrně dlouhou periodou, což přesné naučení a „kopírování“ pohybu cíle ztížilo.

Na vnímání dyskomfortu se v experimentu projeví i určité zajímavé rozdílnosti mezi subjekty. Subjekt *P*, který je zvyklý pracovat s počítačem přibližně 10 hodin denně, dosáhl ze subjektů nejnižšího maximálního stupně dyskomfortu (stupeň 3) a vůbec nepociťoval dyskomfort očí, který se u subjektů *M* a *V* projevoval v průběhu

každého měření. S dyskomfortem byl spojený i způsob ovládání kurzoru pomocí joysticku. Každý subjekt pociťoval dyskomfort zejména v ruce, kterou ovládal joystick, takže použitím jiného ovládacího zařízení (například myši) by se mohlo vnímání dyskomfortu v této oblasti snížit, protože moderní člověk je na takovéto ovládání navyklý.

Hypotéza o nárůstu chyby v čase při provádění TT se potvrdila a statistická metoda počítání klouzavé střední hodnoty se také osvědčila. Hodnocením frekvenčního spektra cíle a kurzoru pomocí Fourierovy analýzy se nepodařilo prokázat, že by se spektra cíle a kurzoru od sebe výrazněji lišily v daných intervalech. Výsledky měření dále ukázaly možnou souvislost mezi dyskomfortem a výkonem při TT, ale pro exaktní ověření bude potřeba provést podstatně větší experiment a dyskomfort hodnotit i jinými metodami (například regresní nebo korelační analýza).

V následujících studiích by se mohlo pracovat s různým nastavením obtížnosti úlohy TT a také s definováním úplně nového pojmu, který by výstižněji vyjadřoval dyskomfort vzhledem k senzomotorickému výkonu člověka.

6 Závěr

I když se s dyskomfortem jako pocitem nepohodlí setkáváme několikrát denně, tak ho zatím ještě nikdo nedokázal přesně definovat. Lze ho chápat jako reakci organismu na nějaký nežádoucí aktuální stav. Popisují se různé jeho projevy a faktory, které ho ovlivňují, ale spolehlivé metody detekce jsou teprve v počátcích výzkumu. Jedinou známou přímou metodou hodnocení dyskomfortu jsou subjektivní dotazníky, které se ukazují jako nepříliš přesná metoda.

Cílem této práce bylo zjistit možnosti detekce dyskomfortu specificky použitou metodou TT. Vycházela jsem ze dvou hypotéz: 1) Chyba se při provádění TT bude zvyšovat v čase a s obtížností úlohy. 2) Dyskomfort se projeví ve výkonu TT. Hodnoty střední chyby opravdu narůstaly v čase, což se významně projevilo zejména u déle trvajících měření (60 minut a 120 minut). Při vyhodnocování výsledků Fourierovou analýzou se nepodařilo zjistit významné rozdíly v časovém vývoji frekvenčního spektra cíle a kurzoru. Nepotvrdil se ani předpoklad, že při 2-hodinovém měření bude zřetelnější rozdíl frekvenčních charakteristik cíle a kurzoru v souvislosti s rostoucím časem. To může poukazovat na to, že obtížnost úlohy byla nastavena na poměrně nízkou úroveň. S nastavením různých úrovní obtížnosti se nepracovalo z časových důvodů. To může být podnětem k dalšímu zkoumání problematiky hodnocení TT.

Údaje o vývoji dyskomfortu získané subjektivním dotazníkem přesně nekorespondovaly s údaji střední chyby, ale z hlediska rostoucího celkového trendu obou veličin lze poukázat na jistou souvislost. Je důležité mít na paměti, že dotazníky mají omezenou vypovídací schopnost a vzhledem k hodnocení TT by bylo vhodnější použít nový pojem, který by obsahoval jen biologickou složku dyskomfortu. Nalezení nového definovaného pojmu by mohlo usnadnit objevení relevantního vztahu k senzomotorickému výkonu člověka.

Tato studie zkoumala obecně dyskomfort v sedu a dala by se dále využít v určité úpravě i při zkoumání dyskomfortu v automobilu. U automobilu se setkáváme navíc s negativním vlivem vibrací na řidiče, ale existují i studie, které zkoumají vliv vibrací na provádění TT. Problematika dyskomfortu a jeho detekce je zatím nedostatečně

probádaná a každý pilotní experiment může být přínosem pro další zkoumání
dyskomfortu a jeho podstaty.

Seznam použité literatury

- [1] ALLEN, RW., STEIN, AC., JEX, HR. Detecting Human Operator Impairment with a Psychomotor Task, presented at *17th Annual Conference on Manual Control*, Los Angeles, CA, June 1981. (STI-P-286)
- [2] ANDREONI, G., SANTAMBROGIO, GC., RABUFFETTI, M., PEDOTTI, A. Method for the analysis of posture and interface pressure of car drivers. *Applied Ergonomics*, 2002, vol. 33(6), s. 511-22
- [3] ATSUO MURATA, MAKOTO MORIWAKA, Ergonomics of steering wheel mounted switch—how number and arrangement of steering wheel mounted switches interactively affects performance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2005, Vol. 35, Issue 11, s. 1011-1020
- [4] BARNES, GR., Marsden, JF. Anticipatory control of hand and eye movements in humans during oculo-manual tracking. *Journal of Physiology*, 2002, 539.1, s. 317-330, ISSN:1469-7793
- [5] BOER, ER., KENYON, RV. Estimation of time-varying delay time in nonstationary linearsystems: an approach to monitor human operator adaptation in manual tracking tasks. *Systems, Man and Cybernetics, Part A, IEEE Transactions on*, 1998, vol. 28, Issue: 1, s. 89-99, ISSN: 1083-4427
- [6] Boyle, J., Degia, A. Evaluation Of A Driver Impairment Device: An Illicit Drugs Field Investigation With Volunteers, Proceedings of the 17th international conference on Alcohol, 2004, z <http://www.x-cd.com/t2004/pdfs/P18.pdf>, 2006
- [7] Corlett, EN., BISHOP, RP. A Technique for Assessing Postural Discomfort. *Ergonomics*, 1976, vol. 19(2), s. 175-182, ISSN 1366-5847, z <http://www.humanics-es.com/bodypartdiscomfortscale.htm>, 2006

- [8] DAANEN, HA., VAN DE VLIERT, E., HUANG, X. Driving performance in cold, warm, and thermoneutral environments. *Applied Ergonomics*, 2003, vol. 34(6), s. 597-602,
- [9] DE LOOZE, M.P., KUIJT – EVERS, L.F., VAN DIEEN J. Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics*, 2003, vol. 46, s. 985-97, ISSN 1366-5847 (Electronic)
- [10] DHINGRA, H. S., TEWARI, V. K., SINGH, S. Discomfort, Pressure Distribution and Safety in Operator's Seat – A Critical Review. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*, 2003, vol. 5, s.16, ISSN 0858-2114
- [11] Dočkalová, A. Primární dyskomfort při řízení automobilu, problém identifikace a ocenění. Praha: FTVS UK, 2005, diplomová práce, 55 stran
- [12] EBE, K., GRIFFIN, MJ. Qualitative models of seat discomfort including static and dynamic faktors. *Ergonomics*, 2000, vol. 43(6), s.771-790
- [13] EL FALOU, W., DUCHENE, J., GRABISCH, M., HEWSON, D., LANGERON, Y., LINO, F. Evaluation of driver discomfort during long-duration car driving. *Applied Ergonomics*, 2003, vol. 34(3), s. 249-55
- [14] Erbenová, K. Detekce primárního dyskomfortu při řízení automobilu. Praha: FTVS UK, 2005, diplomová práce, 52 stran
- [15] FENETY, A., WALKER, JM. Short-term effects of workstation exercises on musculoskeletal discomfort and postural changes in seated video display unit workers. *Physical Therapy*, 2002, vol. 82(6), s. 578-589
- [16] FREDERICK G. FREEMAN, PETER J. MIKULKA, LAWRENCE J. PRINZEL, MARK W. SCERBO. Evaluation of an adaptive automation system using three EEG indices with a visual tracking task. *Biological Psychology*, 1999, vol. 50, Issue 1, s. 61-76

- [17] Gerard MJ., Martin BJ. Post-effects of long-term hand vibration on visuo-manual performance in a tracking task. *Ergonomics*, 1999, Volume 42, Number 2, s. 314-326(13)
- [18] GYL, DE., PORTER, JE. Interface and the prediction of car seat discomfort. *Applied Ergonomics*, 1999, vol. 30, s. 99 -107
- [19] HELANDER, MG., ZHANG, L. Field studies of comfort and discomfort in sitting. *Ergonomics*, 1997, vol. 40(9), s. 895-915
- [20] HOBSON, D., CRANE, B. State of the Science White Paper On Wheelchair Seating Comfort. *Seat Comfort*, vol. 2001, z <http://www.ercwm.pitt.edu/RERCWM_PDF/Comfort.pdf#search=%22Wheelchair%20Seating%20Comfort%2C%20Douglas%20Hobson%20and%20Barbara%20Crane%22>, 2006
- [21] Kaneo Hiramatsu, Hiroshi Uno. Older drivers' performance with variation of preview time in tracking task. *JSAE Review*, 1996, vol. 17, Number 1, s. 68-70, ISSN 0389-4304
- [22] KEVIN C. ENGEL, JOHN H. ANDERSON, JOHN F. SOECHTING, Similarity in the Response of Smooth Pursuit and Manual Tracking to a Change in the Direction of Target Motion. *The Journal of Neurophysiology*, 2000, Vol. 84, No. 3, s. 1149-1156
- [23] Klein, RH., Jex, HR., Effects of Alcohol on a Critical Tracking Task, *Journal of Studies on Alcohol*, 1975, vol. 36, No. 1, s. 11-20.
- [24] Kolich, M., Seal, N., Taboun S. Automobile seat comfort prediction: statistical model vs. artificial neural network, *Applied Ergonomics*, 2004, vol. 35, Issue 3, s. 275-284
- [25] Kölsch, M., Beall, AC., Turk. M. An Objective Measure for Postural Comfort. *HFES Annual Meeting Notes*, 2003, Denver, Colorado, z <<http://ilab.cs.ucsb.edu/projects/mathias/KolschBeallTurk2003AnObjectiveMeasureForPosturalComfort.pdf>>, 2006

- [26] Lokšová, I., Lokša, J. *Pozornost, motivace, relaxace a tvořivost dětí ve škole*. Portál, Praha, 1999, 1. vydání, 208 stran. ISBN 80-7178-205-X
- [27] Makeig, S., Jolley, K. *COMPTRACK: A compensatory tracking task for monitoring alertness*, NHRC Tech. Doc. No. 96-3. Naval Health Research Center, San Diego, CA., 1996, 14 stran, z <<http://www.sccn.ucsd.edu/~scott/pdf/COMPTRACK.pdf>>, 2006
- [28] MANSFIELD, NJ., MARSHALL, JM. Symptoms of musculoskeletal disorders in stage rally drivers and co – drivers. *British Journal of Sports Medicine*, 2001, vol. 35, s. 314-320
- [29] MARLER, RT., RAHMATALLA S., SHANAHAN M., ABDEL-MALEK K. A new discomfort function for optimization-based posture prediction. SAE Human Modeling for Design and Engineering Conference, Iowa City, IA, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 2005, 10 stran
- [30] Martin BJ, Roll JP, Di Renzo N. The interaction of hand vibration with oculomanual coordination in pursuit tracking. *Aviat Space Environ Med.*, 1991, vol. 62(2), s. 145-52
- [31] Min K. Chung, Inseok Lee, Dohyung Kee. Assessment of postural load for lower limb postures based on perceived discomfort, *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 31, Issue 1, 2003, s. 17-32
- [32] MOLLOY, R., PARASUMARAN, R. Pilots Who Rely Too Much On Automation May Not Detect Malfunctions. *Human factors: the journal of the human factors and ergonomics society* Vol. 38, No. 2, June 1996, z <<http://www.scienceblog.com/community/older/1997/A/199700500.html>>, 2006
- [33] Monk CA., Boehm-Davis DA., Trafton JG. The attentional costs of interrupting task performance at various stages. In: Proceedings of 46th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society (HFES 2002), Santa Monica: Human Factors and Ergonomics Society, 1824-1828

- [34] Moskowitz, H., Fiorentino, D. A Review of the Literature on the Effects of Low Doses of Alcohol on Driving-Related Skills, 2000, z <<http://www.nhtsa.dot.gov/PEOPLE/injury/research/pub/Hs809028/Title.htm>>, 2006
- [35] Orawan KAEWBOONCHOO, Hiroichi YAMAMOTO, Nobuyuki MIYAI, Seyed Mohamad MIRBOD, Ikuharu MORIOKA and Kazuhisa MIYASHITA. The Standardized Nordic Questionnaire Applied to Workers Exposed to Hand-Arm Vibration, 1998, vol. 40, s. 218 - 222
- [36] PORTER, JM., GYL, DE., TAIT, HA. Interface pressure data and the prediction of driver discomfort in road trials. *Applied Ergonomics*, 2003, vol. 34(3), s. 207-214
- [37] QUEHL, J. Comfort studies on aircraft interior sound and vibration, 2001, disertační práce, Oldenburg Universität, 210 stran, z <<http://docserver.bis.uni-oldenburg.de/publikationen/dissertation/2001/quecom01/pdf/quecom01.pdf>>, 2006
- [38] Seiffert, AE. Visual attention mediates object control. *Journal of Vision*, 2004, vol. 4(8), s. 267, z <<http://journalofvision.org/4/8/267/>>, ISSN 1534-736
- [39] Shook, LS., Akin, DL. Evaluation of Various Hand Controllers for Use by a Space Suited Subject, SAE Paper 2001-01-2203, *31st International Conference on Environmental Systems*, Orlando, FL, 2001, z <<http://spacecraft.ssl.umd.edu/publications/ICES01-2203.pdf#search=%22Evaluation%20of%20Various%20Hand%20Controllers%20for%20Use%22>>, 2006
- [40] Stark L., Young L., R., 1965, 221 stran, Biological Control Systems-A Critical Review and Evaluation: Developments in Manual Control. *NASA Contractor Report – CR. 1965*, 221 stran

- [41] Strayer, DL., Drews, FA., Albert, RW., Johnston, WA. Cell phone induced perceptual impairments during simulated driving. In D. V. McGehee, J. D. Lee, & M. Rizzo (Eds.) *Driving Assessment 2001: International Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*, z <<http://www.psych.utah.edu/AppliedCognitionLab/DrivingSymposium.pdf>>, 2006
- [42] TALBOT, S. *System physiology*. 1. vyd. Oxford: Wiley publications, 1973. 511s. ISBN 0-471-84415-2
- [43] VERGARA, M., PAGE, A. Relationship between comfort and back posture and mobility in sitting-posture. *Applied Ergonomics*, 2002, vol. 33(1), s.1-8
- [44] Weisová, J. Vliv senzomotorické monotonie na vnímání dyskomfortu. Praha: FTVS UK, 2005, diplomová práce, 64 stran
- [45] Wewers ME., Lowe NK. A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. *Research in Nursing and Health*, 1990, vol. 13, s.227-236.
- [46] ZHANG, L., HELANDER, M. G., DRURY, C. G. Identifying factors of comfort and discomfort in sitting. *Human Factors*, 1996, vol. 38, s.377-389.

Použité zkratky

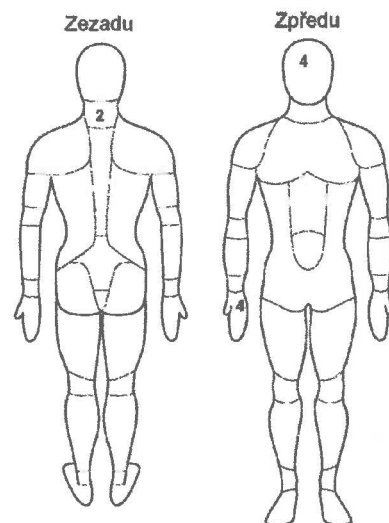
- **ANOVA** – Analysis of Variance, analýza rozptylu
- **BPDS** – Body Part Discomfort Scale, škála hodnotící dyskomfort
- **EEG** – elektroencefalografie
- **EMG** – elektromyografie
- **PC** – personal computer, osobní počítač
- **PDA** – personal digital assistant, malý přenosný počítač
- **TT** – tracking task, sledovací úloha
- **VCR** – videorekordér

Příloha A: Tabulky

Dotazník I, subjekt M, 3.měření

Čas [hod:min]	Lokalita	Intenzita [stupeň 1-5]
00:03	oči	2
00:06	předloktí	2
00:06	dlaň	2
00:12	předloktí	1
00:18	dlaň	3
00:20	krk	2
00:22	oči	4
00:24	předloktí	2
00:28	dlaň	4
00:29	chodidla	2

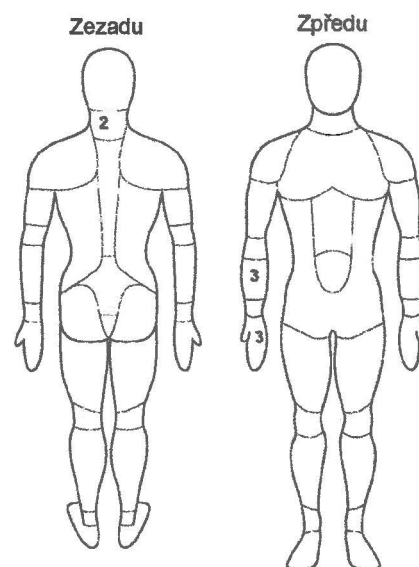
Dotazník II, subjekt M, 3.měření



Dotazník I, subjekt P, 2.měření

Čas [hod:min]	Lokalita	Intenzita [stupeň 1-5]
00:05	levé koleno	2
00:06	levé koleno	1
00:08	ucho	2
00:09	ucho	1
00:10	ukazovák	2
00:11	ukazovák	1
00:12	prostředníček	2
00:13	prostředníček	1
00:16	krk	2
00:17	krk	1
00:19	levé předloktí	2
00:20	levé předloktí	1
00:22	hlava	2
00:23	hlava	1
00:23	pravá ruka	2
00:27	krk	2
00:27	pravá ruka	3
00:28	pravá ruka	2
00:28	krk	1
00:29	levé rameno	2

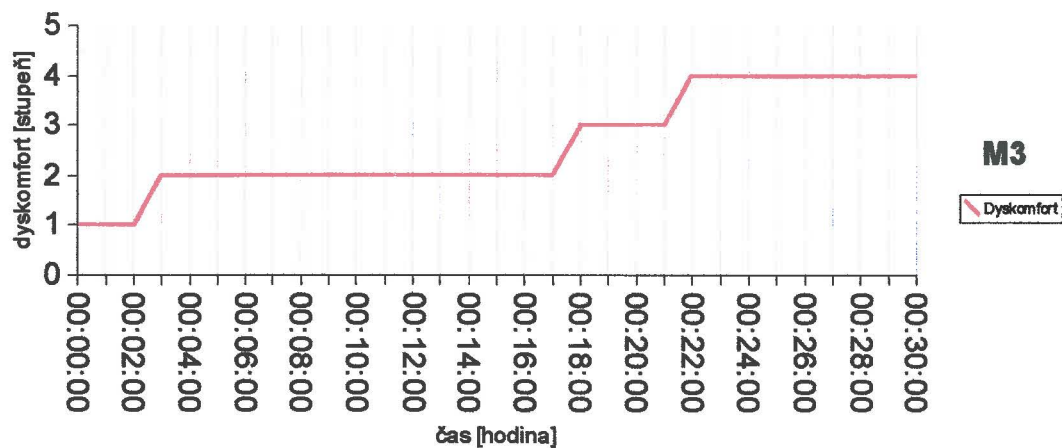
Dotazník II, subjekt P, 2.měření



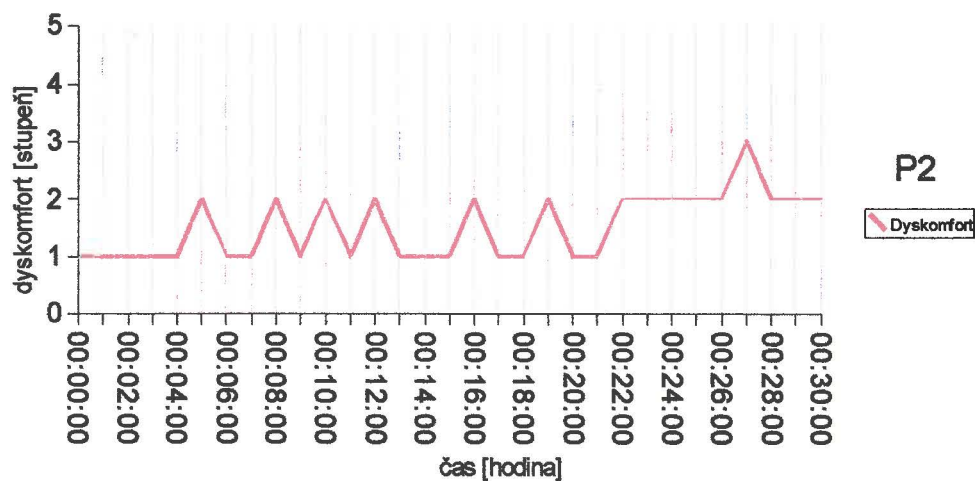
Tabulka 3: Střední chyba a směrodatná odchylka chyby

Subjekt	Číslo měření	Délka měření [min]	Celková střední chyba [pixely]	Celková směr. odchylka [pixely]
M	1	30	36	28,2
M	2	30	31,8	26,1
M	3	30	32,9	25,6
P	1	30	34,5	26,3
P	2	30	26,8	21
P	3	30	25,9	20,8
V	1	30	49,3	35,9
V	2	60	42,6	32,1
V	3	30	31,6	23,5
V	4	30	31,3	24,1
V	5	30	33,7	26,8
V	6	30	40,9	30,6
V	7	30	35,7	27,6
V	8	30	35,7	26,4
V	9	60	37,5	28,5
V	10	30	29,5	23,3
V	11	120	43,2	34,6

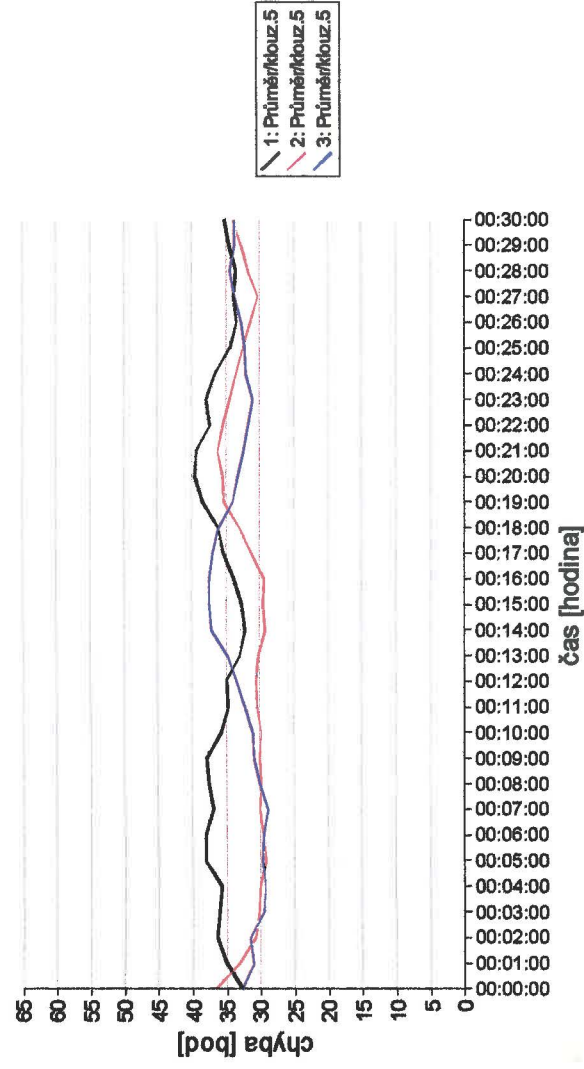
Příloha B: Grafy



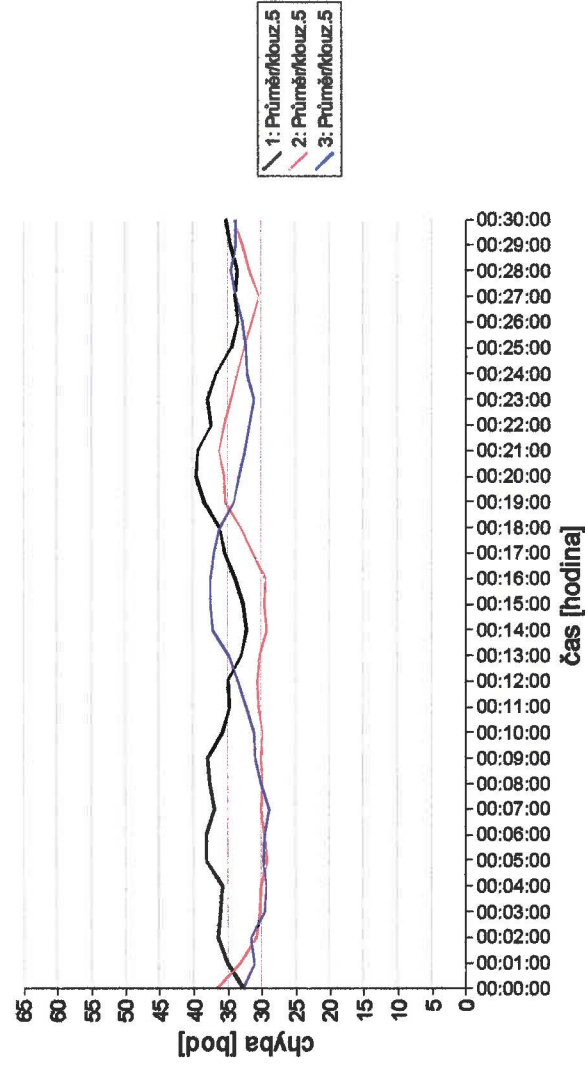
Graf 19: Vývoj dyskomfortu u subjektu *M*, 3.měření



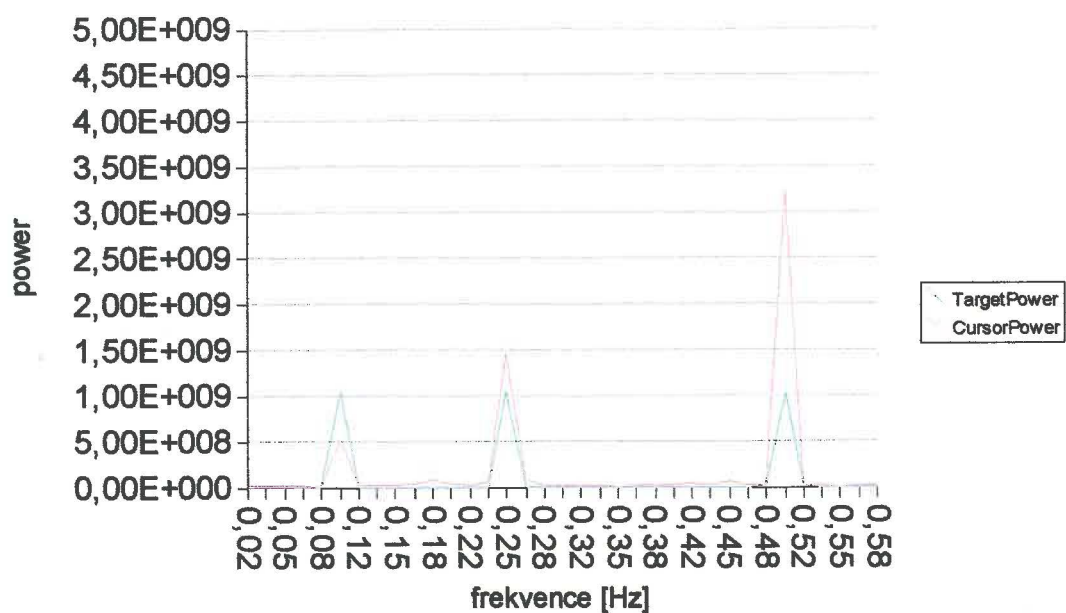
Graf 20: Vývoj dyskomfortu u subjektu *P*, 2.měření



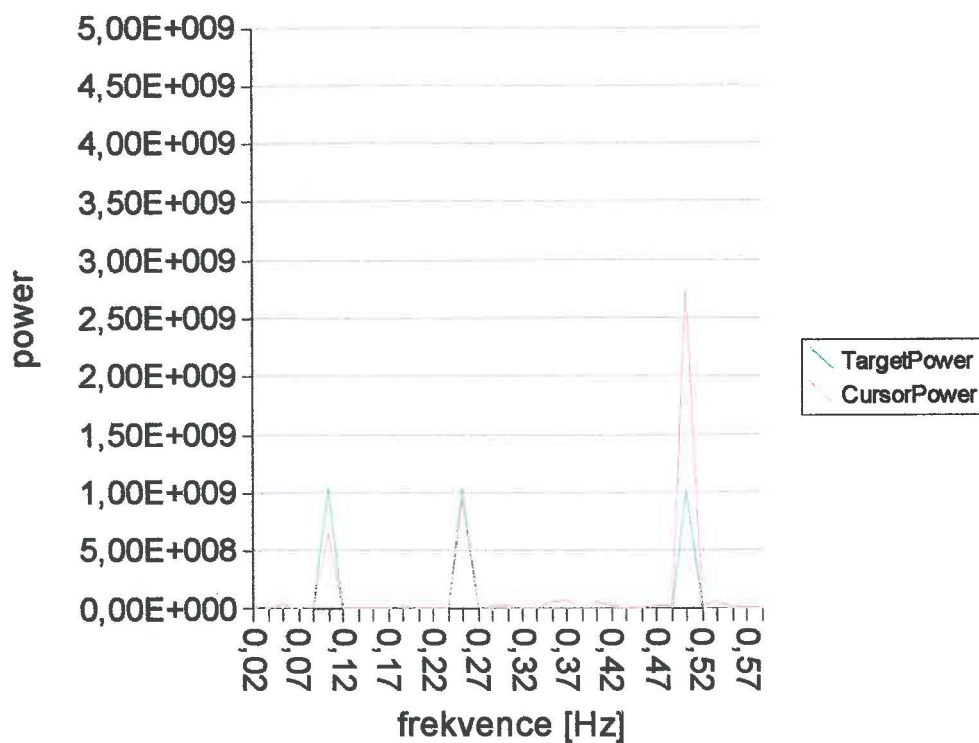
Graf 21: Klouzavá střední chyba subjektu *M* u všech měření



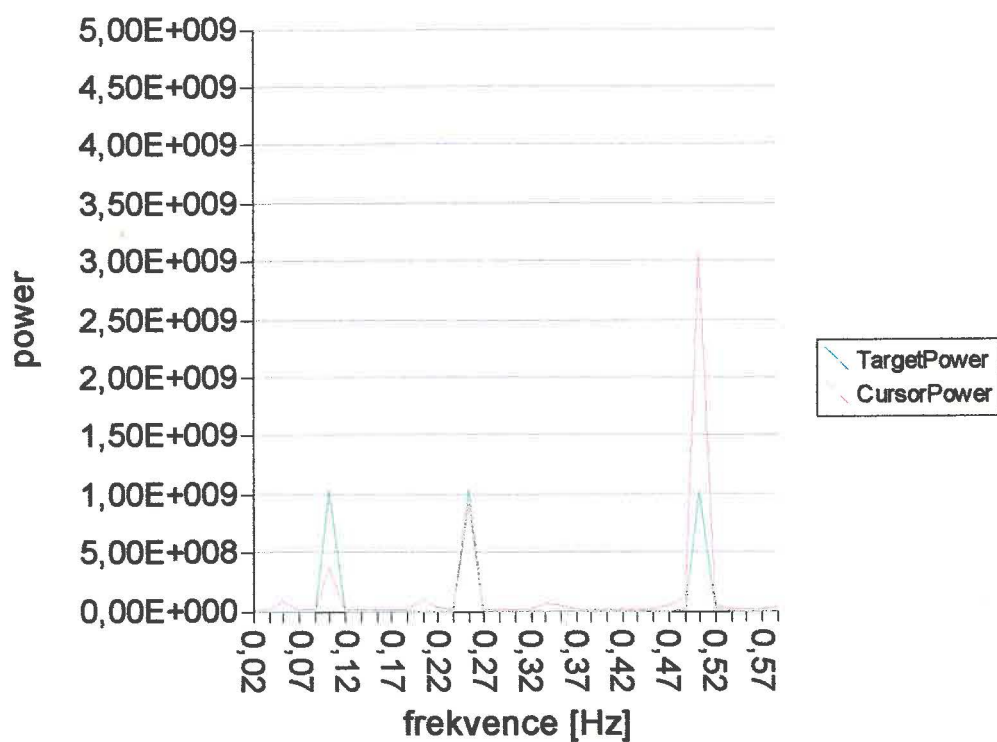
Graf 22: Klouzavá střední chyba subjektu *P* u všech měření



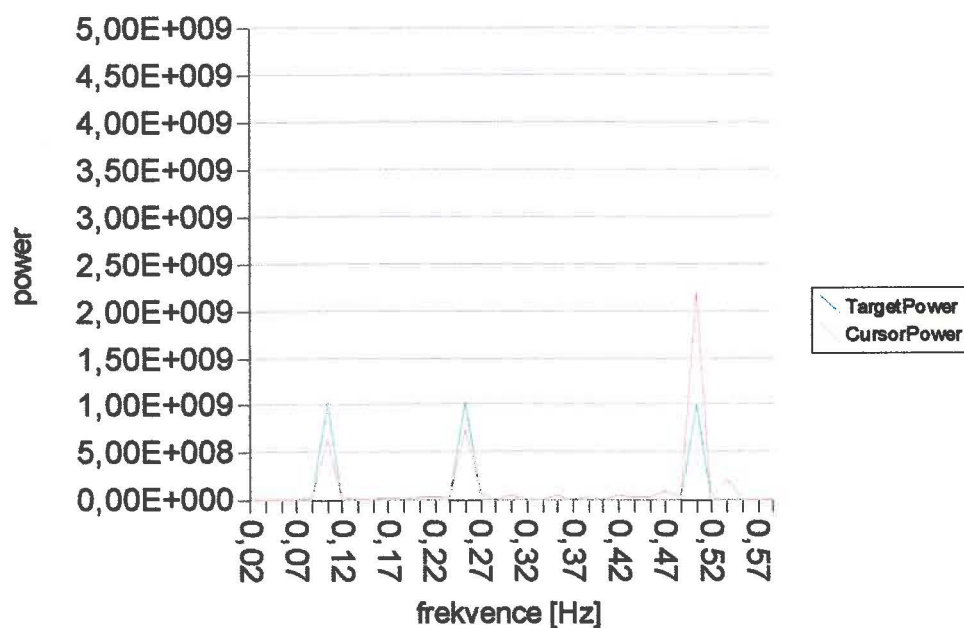
Graf 23: Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce (vstup = cíl, výstup = kurzor),
subjekt V, 31.minuta měření



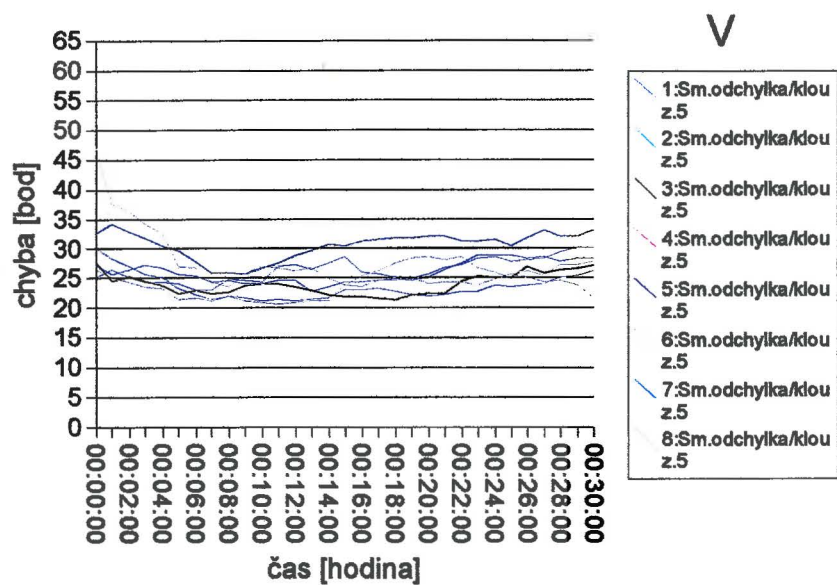
Graf 24: Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce (vstup = cíl, výstup = kurzor),
subjekt V, 32.minuta měření



Graf 25: Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce (vstup = cíl, výstup = kurzor),
subjekt V, 33.minuta měření



Graf 26: Frekvenční spektrum vstupní a výstupní funkce (vstup = cíl, výstup = kurzor),
subjekt V, 34.minuta měření



Graf 27: Klouzavá směrodatná odchylka subjektu *V* u všech 30-min.měření